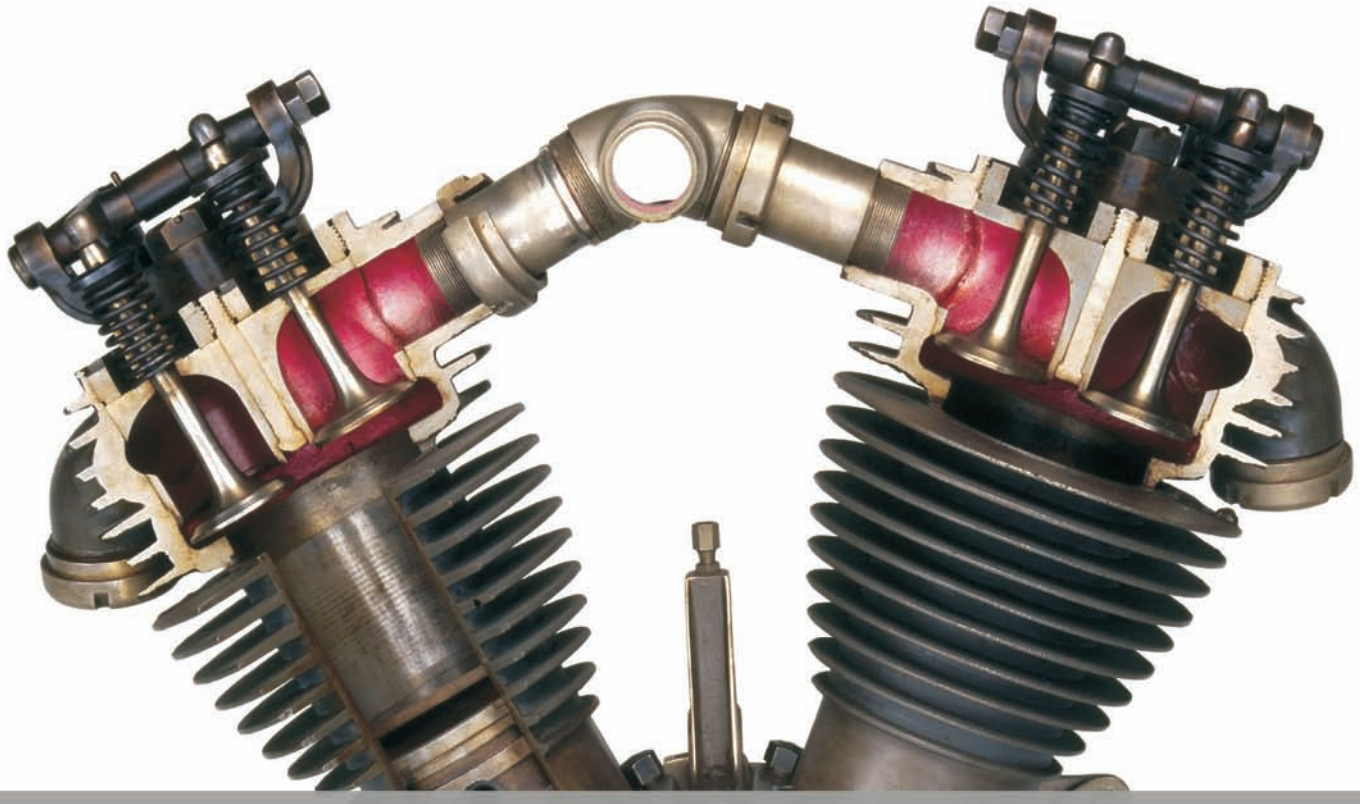


# Motores

MACMILLAN
Profesional

# Motores

Secundino Escudero

Jesús González

Juan Luis Rivas

Alejandro Suárez

MACMILLAN Profesional

**Unidad 1 - Introducción a los motores y su clasificación** 8

1 >> Introducción a los motores 9

2 >> Clasificación de los motores en función de la energía que transforman 10

3 >> Motores eléctricos 11

4 >> Motores térmicos de combustión 12

4.1 > Motores de combustión externa (MCE) 12

4.2 > Motores de combustión interna (MCI) 13

5 >> Motores de combustión interna alternativos 15

5.1 > Clasificación según el proceso de combustión 15

5.2 > Clasificación según el número de carreras en el ciclo de trabajo 16

5.3 > Clasificación según el tipo de refrigeración 17

5.4 > Clasificación según el número y disposición de los cilindros 17

5.5 > Clasificación según el tipo de combustible utilizado 18

5.6 > Clasificación según la presión de admisión 18

**Unidad 2 - Elementos constructivos del motor térmico** 24

1 >> Introducción a los motores térmicos 25

2 >> Elementos estructurales o fijos del motor 26

2.1 > Bloque motor 26

2.2 > Culata 27

2.3 > Tapa de culata o de balancines 28

2.4 > Cárter 28

3 >> Tren alternativo 29

3.1 > Pistón o émbolo 29

3.2 > Segmentos 30

3.3 > Bulón 31

3.4 > Bielas 31

3.5 > Cigüeñal 32

3.6 > Casquillos de fricción o semicojinetes 33

3.7 > Volante motor 34

4 >> Mecanismos y circuitos auxiliares 35

4.1 > Mecanismo de la distribución 35

4.2 > Circuito de engrase 37

4.3 > Circuito de refrigeración 37

**Unidad 3 - Extracción del motor. Herramientas y medidas de seguridad** 42

1 >> Normas generales para la extracción del motor 43

2 >> Herramientas utilizadas para la extracción del motor 46

2.1 > Las llaves del mecánico 46

2.2 > Los alicates 47

2.3 > Los destornilladores 48

2.4 > Herramientas para golpear 49

2.5 > Herramientas especiales para la extracción y montaje del motor 50

3 >> Disposición del motor en el vehículo 53

3.1 > Ubicación del motor 53

3.2 > Clasificación de los vehículos por la ubicación del motor y la transmisión 54

4 >> Medidas de seguridad para la extracción del motor 56

**Unidad 4 - Motor de explosión otto de cuatro tiempos** 62

1 >> Ciclo otto de cuatro tiempos 63

1.1 > Ciclo teórico de funcionamiento 63

1.2 > Ciclo práctico: diagrama de la distribución 66

2 >> Diagramas de trabajo 68

2.1 > Diagrama teórico de trabajo 68

2.2 > Diagrama real de trabajo 68

2.3 > Rendimiento 69

3 >> Modo de encendido 70

**Unidad 5 - Motor alternativo de combustión diésel** 76

1 >> Ciclo diésel de cuatro tiempos 77

1.1 > Ciclo teórico de funcionamiento 77

1.2 > Diagrama de la distribución 79

1.3 > Diferencias entre motores otto y diésel 80

2 >> Diagramas de trabajo 81

2.1 > Diagrama teórico de trabajo 81

2.2 > Diagrama real de trabajo 81

2.3 > Rendimiento 82

**Unidad 6 - Características de los motores** 88

1 >> Características de los motores térmicos 89

1.1 > Cilindrada 89

1.2 > Relación de compresión 90

1.3 > Par motor 91

1.4 > Potencia 92

1.5 > Consumo específico 94

1.6 > Rendimiento 95

1.7 > Curvas características 96

1.8 > Elasticidad 97

2 >> Disposición y número de cilindros 99

2.1 > Clasificación por la disposición de los cilindros 99

2.2 > Clasificación por el número de cilindros 100

**Unidad 7 - La culata. Verificación y controles** 110

1 >> Introducción al estudio de la culata 111

2 >> Tipos de culatas 112

3 >> Fabricación de la culata 113

4 >> Combustión y cámaras de combustión 114

4.1 > Combustión en los MEP 114

4.2 > Combustión en los MEC 118

5 >> Tornillos de culata 122

6 >> Junta de culata 124

7 >> Averías en las culatas y sus juntas 125

8 >> Verificaciones en una culata 127

9 >> Reparaciones de una culata 132

**Unidad 8 - El bloque motor** 138

1 >> El bloque motor 139

1.1 > Clasificación de los bloques 140
1.2 > Características de los bloques 140
1.3 > Fabricación del bloque 141
1.4 > La bancada 141
1.5 > Los cilindros 142
1.6 > Fabricación o montaje de los cilindros en el bloque motor 143
1.7 > Conductos y orificios en el bloque 145

2 >> Características de los cilindros 146

2.1 > Dimensiones del cilindro 146
2.2 > Espesor de la pared en los cilindros 146
2.3 > Condiciones óptimas de los cilindros 147
2.4 > Alteraciones en el cilindro por desgaste 148
2.5 > Efectos de las averías en los cilindros 148

3 >> Averías del motor imputables al bloque 149

4 >> Verificación y reparación del bloque 150

4.1 > Verificación 150
4.2 > Rectificado de cilindros 150

5 >> Máquinas de rectificado del bloque 154

**Unidad 9 - El tren alternativo. Verificación y controles** 160

1 >> El volante de inercia 161

1.1 > Características del volante de inercia 161
1.2 > Proceso de control 161

2 >> El cigüeñal 162

2.1 > Formas constructivas del cigüeñal 162
2.2 > Equilibrado del cigüeñal 162
2.3 > Proceso de control del cigüeñal 163

3 >> La biela 164

4 >> Casquillos de biela y cigüeñal 165

5 >> Montaje biela-pistón 167

6 >> Los pistones 168

6.1 > Tipos de pistones en cuanto a su trabajo 168
6.2 > Tipos de pistones en cuanto a su forma constructiva 169
6.3 > Verificación y diagnosis de los pistones 170
6.4 > Deterioros en los pistones 171

7 >> Los segmentos 172

7.1 > Formas constructivas de los segmentos 172
7.2 > El trabajo de los diferentes segmentos 173
7.3 > Comprobación de anomalías en los segmentos 174

**Unidad 10 - Sistemas de distribución** 180

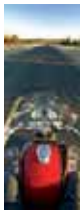
1 >> Introducción al estudio del sistema de distribución 181

1.1 > Distribución OHV 182
1.2 > Distribución OHC o SOHC 183
1.3 > Distribución DOHC 183

2 >> Sistemas de mando de la distribución 184
2.1 > Transmisión mediante piñones 184
2.2 > Transmisión por cadena 185
2.3 > Transmisión por correa dentada 185
3 >> Componentes de la distribución 186
3.1 > Árbol de levas 186
3.2 > Válvulas 187
3.3 > Taqués 189
3.4 > Varillas empujadoras 191
3.5 > Balancines 192
3.6 > Muelles de válvula 192

**Unidad 11 - Verificación y control en sistemas de distribución 198**
1 >> Sistemas de distribución y sus averías 199
1.1 > Falta de estanqueidad en las válvulas 199
1.2 > Desfase en el mecanismo de sincronización de la distribución 199
1.3 > Ruidos de distribución 200
1.4 > Fatiga y desgaste de los elementos de la distribución 200
2 >> Mantenimiento en los sistemas de distribución 201
2.1 > Sustitución de la correa de distribución 201
2.2 > Tensado de la cadena de distribución 206
2.3 > Reglaje de válvulas 206
3 >> Verificaciones en los sistemas de distribución 212
4 >> Reparaciones en los sistemas de distribución 222

**Unidad 12 - Mejora del rendimiento volumétrico de los motores 230**
1 >> Introducción a la mejora del $R_V$ 231
2 >> Colectores de geometría variable 233
3 >> Distribuciones multiválvulas 236
4 >> Distribuciones variables 237
4.1 > Variadores de fase del árbol de levas 237
4.2 > Variadores de alzada de las válvulas 243
5 >> Sobrealimentación 249
5.1 > Turbocompresores 249
5.2 > Compresores volumétricos 253



**Unidad 13 - Motores rápidos de motocicletas. Motores de dos y cuatro tiempos 262**
1 >> Antecedentes y clasificación de los motores de dos tiempos 263
2 >> Constitución del motor de dos tiempos 264
2.1 > Elementos fijos 264
2.2 > Elementos móviles 268

3 >> Funcionamiento de los motores de dos tiempos 272
3.1 > Ciclos teórico y práctico de los motores de dos tiempos 273
3.2 > Desventajas más importantes del motor de dos tiempos 278
4 >> Refrigeración y engrase 279
4.1 > Refrigeración 279
4.2 > Lubricación 279
5 >> Verificaciones del motor de dos tiempos 280
6 >> Estudio del motor de cuatro tiempos para motocicletas 283

Unidad 14 - Sistemas de lubricación y aceites 290
1 >> Características de la lubricación 291
2 >> Lubricantes 292
2.1 > Características de un lubricante 293
2.2 > Aditivos 296
2.3 > Especificaciones de calidad 297
3 >> Tipos de lubricación 303
3.1 > Engrase directo a través del combustible 303
3.2 > Lubricación por barboteo 303
3.3 > Lubricación forzada por presión 304
4 >> Elementos de un circuito de lubricación 308
4.1 > Cárter 308
4.2 > Bomba de aceite 308
4.3 > Refrigerador de aceite 310
4.4 > Filtro de aceite 311
4.5 > Manocontacto de presión o presocontacto 313
4.6 > Canalizaciones de aceite 313
4.7 > Sistema de ventilación del cárter 313
4.8 > Equipo para prolongar los intervalos de mantenimiento 314
5 >> Averías en los circuitos de lubricación 316

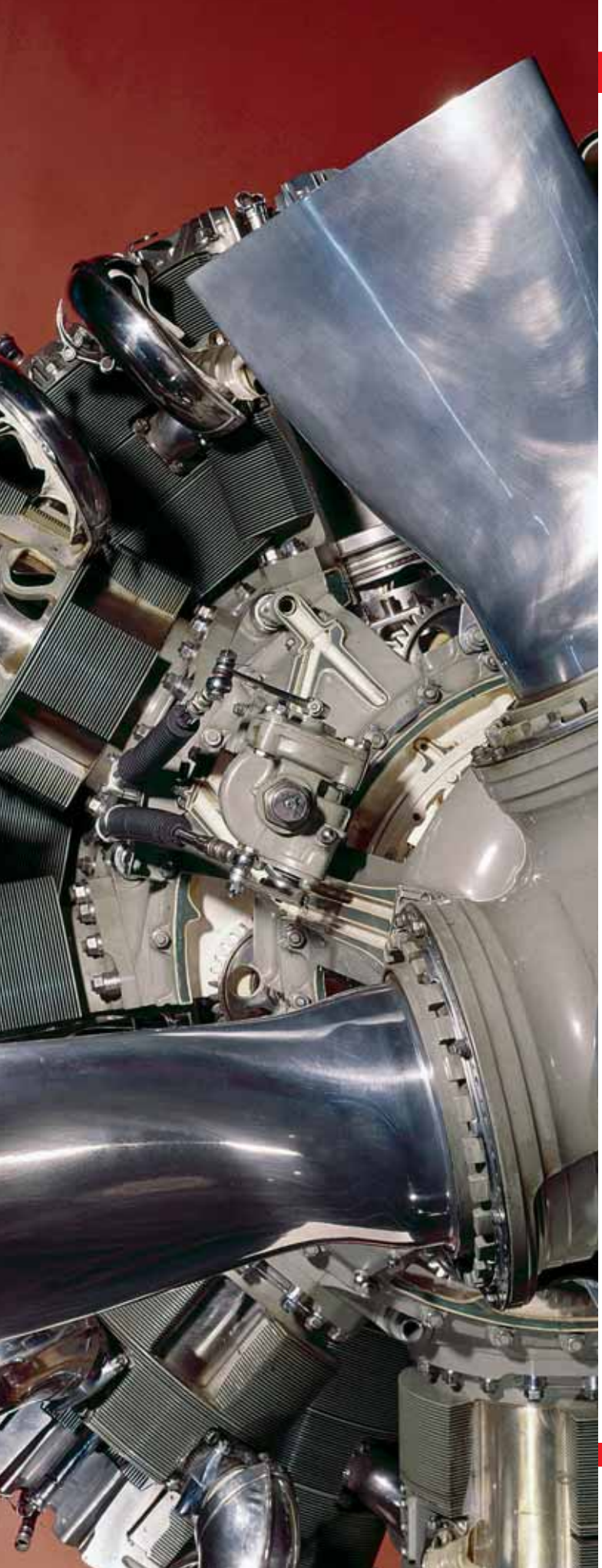
Unidad 15 - Sistemas de refrigeración 322
1 >> Objetivo de la refrigeración 323
1.1 > Límite de temperatura en los elementos del motor 323
1.2 > Calor que debemos evacuar del motor 324
2 >> Clasificación de los sistemas de refrigeración 325
2.1 > Refrigeración directa por aire 325
2.2 > Refrigeración indirecta por líquido 326
2.3 > Refrigeración mixta 327
3 >> Elementos del sistema de refrigeración presurizado 328
3.1 > El radiador 328
3.2 > Los manguitos 330
3.3 > La bomba 330
3.4 > Los conductos internos 331
3.5 > El termostato 332

3.6 > El depósito de expansión 334
3.7 > El ventilador 335
3.8 > Poleas y correas 337
3.9 > Dispositivos de control: indicador de temperatura 340
3.10 > Tapones de protección del bloque y culata contra la congelación 340
3.11 > El líquido refrigerante 341
3.12 > Elementos asociados al circuito de refrigeración 342
**4 >> Nuevos elementos del sistema de refrigeración 343**
4.1 > Bomba de agua desconectable 343
4.2 > Sistema de refrigeración regulado electrónicamente 343
**5 >> Averías del sistema de refrigeración 346**

**Unidad 16 - Motores rotativos 352**
**1 >> Inicio de los motores rotativos 353**
**2 >> Estudio del motor wankel 354**
2.1 > Constitución del motor wankel 354
2.2 > Funcionamiento 355
2.3 > Características de los motores wankel 357
2.4 > Ventajas e inconvenientes de los motores wankel 358

**Unidad 17 - Motores diésel en vehículos industriales y maquinaria 364**
**1 >> Nacimiento del motor diésel pesado 365**
**2 >> Misión del motor térmico industrial 366**
2.1 > Clasificación de los motores diésel pesados 366
**3 >> Elementos constructivos del motor diésel industrial 371**
3.1 > Elementos fijos 372
3.2 > Elementos móviles 375
3.3 > El sistema de distribución 380
**4 >> El sistema de lubricación en el motor diésel pesado 382**
**5 >> El sistema de refrigeración en el motor diésel pesado 383**
**6 >> La sobrealimentación del motor diésel industrial 384**

**Unidad 18 - Motores híbridos 390**
**1 >> Vehículos eléctricos 391**
1.1 > Vehículo eléctrico con baterías (VEB) 391
1.2 > Vehículos eléctricos con pila de combustible (VEPC) 392
1.3 > Vehículos eléctricos híbridos (VEH) 393
**2 >> Almacenamiento de energía 396**
2.1 > Baterías 396
2.2 > Volantes de inercia (VI) 397
2.3 > Supercondensadores (SC) 397
**3 >> Control de los motores eléctricos 398**
3.1 > Motores de corriente continua 398
3.2 > Motores de corriente alterna 399
**4 >> Diagnóstico de averías 400**



unidad 1

# Introducción a los motores y su clasificación

## SUMARIO

- Clasificación de los motores en función de la energía
- Motores eléctricos
- Motores térmicos
- Motores de combustión interna alternativos

## OBJETIVOS

- Identificar los diferentes tipos de energía que se pueden usar para la generación de energía mecánica.
- Conocer las tipologías de máquinas motoras que existen.
- Saber distinguir las principales ventajas e inconvenientes que aporta cada tipo de motor.
- Conocer en detalle la clasificación de los motores de combustión interna alternativos.

## 1 >> Introducción a los motores

En la actualidad, los coches en nada se asemejan al triciclo con el que nacía el primer automóvil. Lo cierto es que han evolucionado de un modo imparable hasta llegar a ser elementos casi imprescindibles en la sociedad actual.

La aparición del motor supuso una enorme revolución para la industria, y esto, junto con la evolución del comercio a lo largo de la historia, ha ido revolucionando los transportes por tierra, mar y aire, dando un impulso decisivo a la motorización de todo tipo de vehículos. Este desarrollo ha provocado que el uso de los motores se generalice para todos los usos industriales.

No obstante, no se puede olvidar que las máquinas de vapor, los reactores, etc., también son motores de mucha importancia en la industria, pero de escasa aplicación en el transporte para automoción a día de hoy.

En la primera mitad del siglo XIX, la necesidad de resolver dos problemas concretos provocó el nacimiento del **motor de explosión**:

– La máquina de vapor no se adaptaba bien para el transporte ligero.
– El coche de caballos era lento y pesado.

Desde 1950 hasta hoy, la evolución está regida tanto por la integración de todos los elementos en un volumen único, como por la optimización de los sistemas de seguridad activa y pasiva, incluidas las modernas líneas aerodinámicas y las altísimas tecnologías utilizadas en los modernos motores.

Al realizar el diseño de los vehículos actuales, no solo se tiene en cuenta la tecnología de sus motores, también se le da mucha importancia a la **seguridad integral**. En este sentido, es de destacar el cuidadoso diseño de la carrocería, en la que los exhaustivos estudios de laboratorio y pruebas de choque dan como resultado vehículos cada vez más seguros.

La máxima tecnología desarrollada en los motores da como resultado un excelente rendimiento y un bajo consumo, tanto en los motores de gasolina como en los diésel: motores de aleación ligera, culatas de cuatro válvulas, inyección directa, bobina de encendido por cilindro, control de detonación, gestión electrónica del motor por bus CAN, etc.

**1.1.** Coche de Fórmula 1.

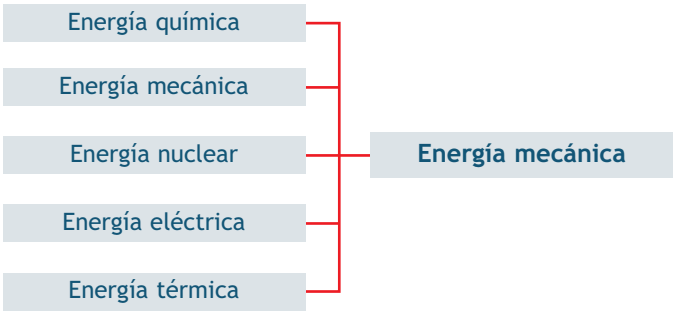
### Tecnología de Fórmula 1

Un aspecto destacado en la evolución del automóvil es el desarrollo de nuevos materiales más ligeros y resistentes, y el control realizado a través de la electrónica. Este permite un ajuste de las condiciones del motor mucho más eficiente. En este sentido, el mundo de la competición ha supuesto un magnífico campo de pruebas para la evolución de los automóviles en general y de los motores en particular.

## 2 >> Clasificación de los motores en función de la energía que transforman

**Un motor es toda máquina capaz de transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica.**

La energía mecánica obtenida a través de los motores se puede aprovechar de muchas maneras, entre ellas, en la propulsión de los vehículos. Los motores se pueden clasificar dependiendo del tipo de energía que transforman en energía mecánica. Las energías más utilizadas son:



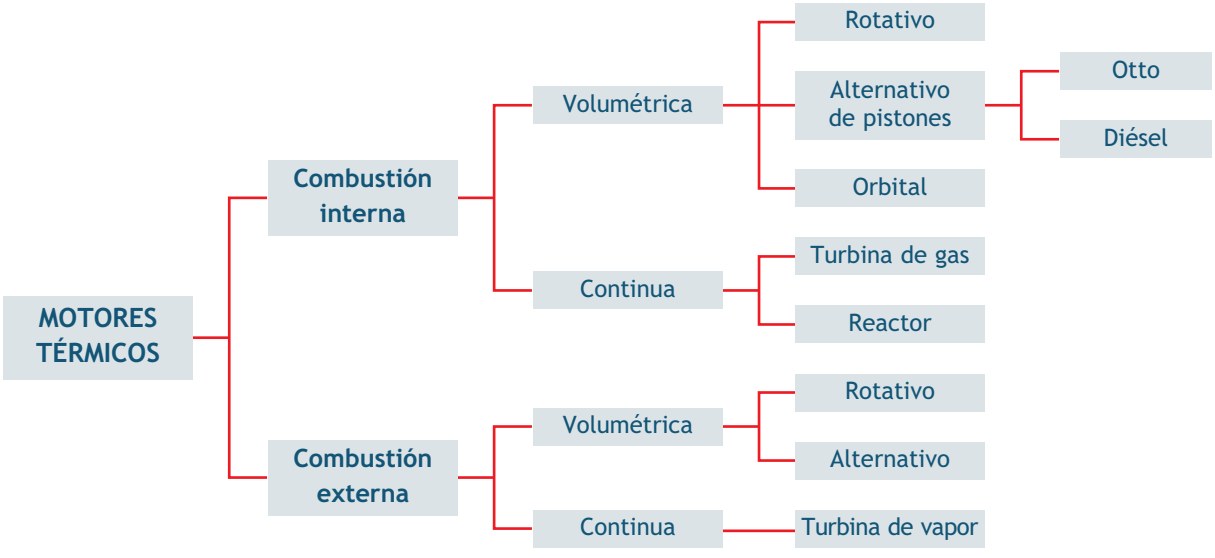

**Vocabulario**

**Motores híbridos:** combinación de dos o más motores diferentes, generalmente un motor eléctrico y otro térmico.

De todas las máquinas motoras que existen en la actualidad, las que mayor interés tienen para las aplicaciones en automoción son aquellas que transforman las energías térmica y eléctrica en energía mecánica.

Los motores que transforman la energía eléctrica en mecánica se han desarrollado e incorporado al mercado automovilístico durante los últimos años, dando lugar a los modernos **motores eléctricos e híbridos,** y se espera que la tecnología continúe evolucionando.

Los motores térmicos son los que tienen mayor trascendencia para la automoción, y en especial, los motores de ciclo otto y diésel. El resto de los que aparecen en la siguiente clasificación tienen un uso muy restringido.




Los motores eléctricos tienen un uso más extendido en automoción gracias a la aparición de los vehículos híbridos.

## 3 >> Motores eléctricos

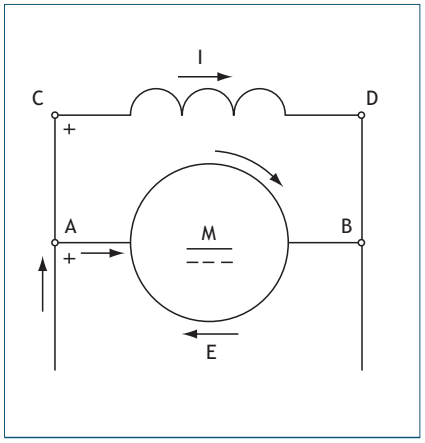
**Los motores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica o movimiento.**

Los motores eléctricos están muy desarrollados en todas las ramas de la industria, por lo que su implantación en automóviles no supondría un problema técnico si se dispusiese de un sistema de almacenamiento y generación de electricidad en el propio vehículo, que le diera suficiente autonomía.

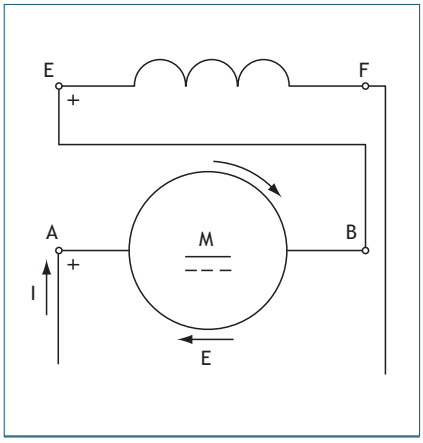
Este hecho es claramente visible en los trenes, cuyo medio de propulsión ha cambiado de los antiguos motores diésel a las modernas máquinas eléctricas, gracias a que disponen de alimentación eléctrica ininterrumpida y de infinita autonomía, salvo cortes en el suministro eléctrico.

Los motores eléctricos se pueden clasificar en:

- **Motores de corriente continua (CC)** (figuras 1.2, 1.3 y 1.4).
- **Motores de corriente alterna (CA).**




**1.2.** Motor con excitación paralelo.




**1.3.** Motor con excitación serie.

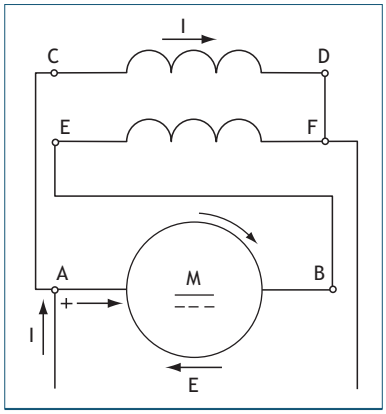
Antiguamente, los motores de corriente alterna se usaban en pocas aplicaciones, debido a la dificultad que presentaban para la regulación de la velocidad. Por otro lado, los motores de corriente continua eran muy pesados y caros, y necesitaban mucho mantenimiento.

Durante los últimos años y gracias a los avances tecnológicos y al desarrollo de la electrónica de potencia aplicada a los elementos de consumo como los motores, se ha conseguido un funcionamiento aceptable de los motores de corriente alterna para regímenes de velocidad variable. Este hecho es de especial importancia, ya que los motores de corriente alterna son, en comparación con los de corriente continua, más baratos, su fabricación es más sencilla, pues se componen de un número menor de piezas y requieren menos mantenimiento. Por todo ello, los motores de corriente alterna son más fiables.

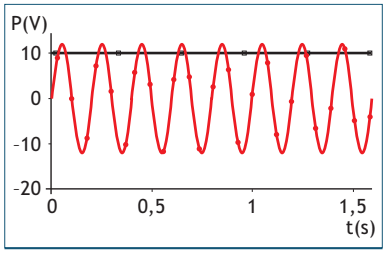
Si se llegase a conseguir menor peso en las baterías y mayor autonomía, los motores eléctricos pueden llegar a ser grandes competidores de los motores alternativos en vehículos ligeros.

### Máquina síncrona

Las máquinas síncronas son de corriente alterna pero el rotor se alimenta con corriente continua o con imanes permanentes. El alternador de un coche es una máquina síncrona como la mayoría de las máquinas generadoras de electricidad.




**1.4.** Motor con excitación compuesta o mixta.




**1.5.** Formas de onda de la CA y la CC.

### Ventaja de la corriente alterna

El gran uso de la corriente alterna se debe fundamentalmente a que se genera y transporta más fácilmente que la corriente continua.

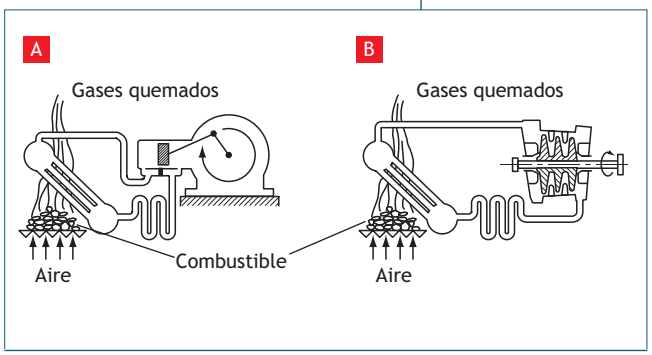
## 4 >> Motores térmicos de combustión

**Los motores térmicos queman combustible para aprovechar la energía liberada en forma de calor y transformarla en energía mecánica o movimiento.**

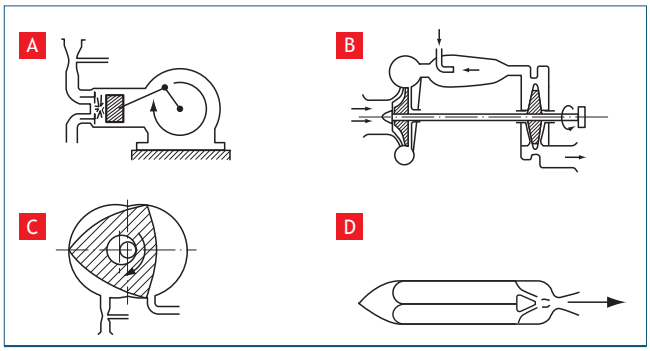
Debido al auge de los vehículos, al desarrollo industrial del siglo xx y al gran número de aplicaciones diferentes para las que pueden ser usados, hay una gran diversidad de motores térmicos. Todos estos tipos de motores se pueden incluir en dos grandes grupos:

– Motores de combustión externa.
– Motores de combustión interna.

A Motor alternativo
B Turbina
C Motor rotativo
D Motor cohete




**1.6.** Motores de combustión externa: alternativo de vapor y turbina de vapor.




**1.7.** Motores de combustión interna: alternativo, rotativo, turbina de gas y motor cohete.

### 4.1 > Motores de combustión externa (MCE)

**En los motores de combustión externa se quema el combustible en el interior de una cámara, y el calor desprendido se aprovecha para calentar otro fluido que realizará el trabajo. La combustión en estos motores no se produce dentro del fluido que realiza el trabajo.**

Los motores de combustión externa se caracterizan por ser muy pesados, voluminosos y por tener un elevado rendimiento. A este tipo de motores pertenecen las turbinas de vapor de las grandes centrales termoeléctricas y las antiguas máquinas de vapor, entre otros.

**1.8.** Turbina de vapor para producir electricidad.

## Técnica

### Construcción de un motor casero de combustión externa

•• Un ejemplo casero de motor de combustión externa consiste en calentar agua en una olla a presión con llama, dejando la válvula abierta y aprovechar el vapor que sale de esta para mover una pequeña turbina, similar a la de los turbo de los vehículos. Se puede aprovechar el movimiento que se obtiene en el eje para producir electricidad, mover una cinta, etc. Los fluidos que intervienen en este caso son:

- El fluido quemado, que es el aire más el combustible.
- El fluido que realiza el trabajo, que en este caso es el vapor de agua.

## 4.2 > Motores de combustión interna (MCI)

**En los motores de combustión interna el fluido que realiza el trabajo es el mismo en el que se ha producido la combustión.**

Hay un gran variedad de motores de esta clase, pero se pueden subdividir en:

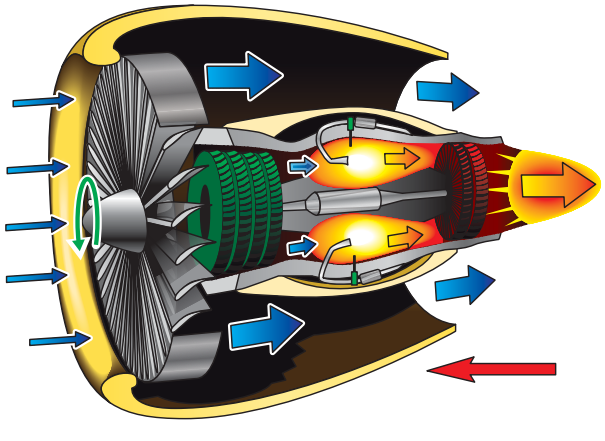
– Motores de flujo continuo: reactores.
– Motores volumétricos de combustión interna.

### Motores de flujo continuo: reactores

**Los motores de flujo continuo son aquellos en los que la combustión se produce en el interior de una cámara de modo continuo mediante, por ejemplo, la existencia de una llama siempre encendida.**

Este tipo de motores se usan principalmente en aviación y para generar electricidad. Su uso en automoción no es habitual, salvo en aplicaciones específicas, por las siguientes razones:

– Son muy caros de desarrollar tecnológicamente debido a que los materiales, en algunas zonas de la máquina, están sometidos a temperaturas muy altas y grandes esfuerzos mecánicos.
– No son útiles para potencias menores de 500 kW.
– No se adaptan a grandes cambios de velocidad, par, etc.



**1.9.** Turborreactor.

### Motores volumétricos de combustión interna

**En los motores volumétricos de combustión interna el trabajo es realizado por un fluido que actúa sobre elementos móviles que ocupan un volumen variable, siempre acotado por un valor máximo y otro mínimo.**

Existen dos grandes grupos:

– **Motores alternativos.** El pistón se mueve linealmente en el interior de un cilindro y transforma su movimiento lineal en rotativo mediante un mecanismo biela-manivela (figura 1.10).
– **Motores rotativos.** Tienen órganos principales con movimiento rotatorio y sin cambio en el sentido del mismo (figura 1.11).

**1.10.** Motor alternativo.

**1.11.** Motor rotativo.

A diferencia de los motores de flujo continuo, en los motores alternativos la combustión se produce a intervalos de tiempo.

Las ventajas e inconvenientes de los motores rotativos, frente a los alternativos, se resumen en la siguiente tabla:

| Ventajas de los rotativos | Inconvenientes de los rotativos |
|---|---|
| - Tamaño reducido para igual potencia.<br>- Producen menos vibraciones.<br>- No hay cambios en el sentido de giro, por lo que los esfuerzos mecánicos son menores. | - Problemas para controlar las emisiones de escape.<br>- Elevados costes de producción.<br>- Problemas de estanqueidad que derivan en un elevado mantenimiento.<br>- Elevado consumo de aceite. |

Los cuatro inconvenientes enumerados, junto con el desarrollo tecnológico de los motores alternativos, hacen que el uso de los rotativos no esté generalizado; pero no por eso hay que olvidar las importantes ventajas de los rotativos frente a los alternativos.

Los motores rotativos usados en la actualidad en automoción son motores rotativos wankel.

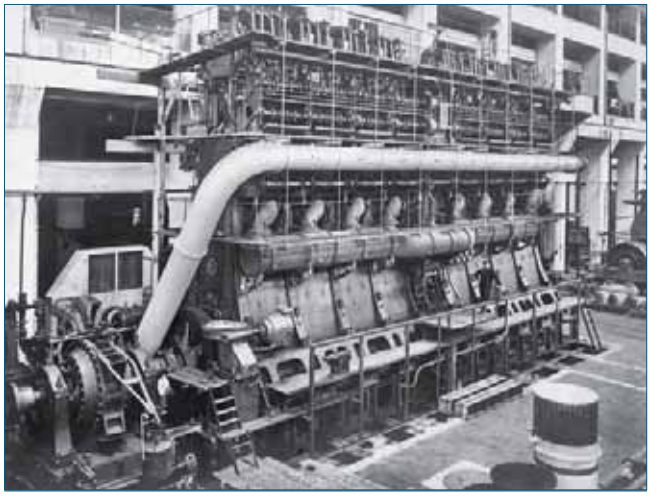
## 5 >> Motores de combustión interna alternativos

**Los motores alternativos son los motores de combustión interna con más aplicaciones debido a que son muy versátiles, abarcan potencias desde 0,1 kW a 32 MW, tienen un rendimiento bastante aceptable y pueden usar combustibles de alto poder calorífico.**

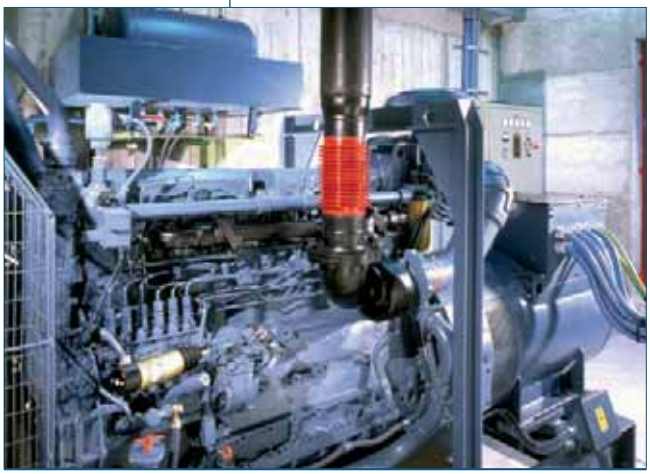
Este tipo de motores son los más importantes en automoción, fundamentalmente, porque usan combustibles líquidos con alto poder calorífico, lo que les otorga una gran autonomía.

Su uso está muy generalizado. Aunque se usan en automoción, también se les da otros múltiples usos, como muestra la siguiente tabla:

| Automoción | Otros usos |
|---|---|
| - Transporte por carretera.<br>- Maquinaria agrícola y de obras.<br>- Trenes y barcos.<br>- Pequeños aviones. | - Generación de energía eléctrica.<br>- Accionamiento industrial: bombas, compresores, cintas transportadoras, etc. |



**1.12.** Motor de barco.



**1.13.** Motor de combustión interna alternativo para la generación de electricidad.

A continuación se van a presentar una gran variedad de máquinas, todas ellas alternativas de combustión interna, pero que tienen particularidades importantes.

Se presentan clasificadas en función de distintos criterios.

### 5.1 > Clasificación según el proceso de combustión

Hay, principalmente, dos formas de provocar la combustión en los motores de combustión interna alternativos:

– **Motores de encendido provocado (MEP) o motores otto.** Son motores donde al final de la compresión se tiene una mezcla de aire y combustible, y donde el proceso de combustión se inicia por una causa externa (generalmente una chispa), y se propaga por un frente de llama a toda la cámara de combustión.

**Vocabulario**

**Autonomía:** distancia o tiempo que un vehículo puede estar funcionando sin repostar.

**Poder calorífico:** energía liberada por unidad de masa.

**1.14.** Motor de ciclo otto.

**1.15.** Motor de ciclo diésel.

– **Motores de encendido por compresión (MEC) o motores diésel.** El fluido introducido, generalmente es aire, tras ser fuertemente comprimido alcanza unas condiciones de presión y temperatura, para que, cuando se inyecte el combustible, este se autoinflame.

## 5.2 > Clasificación según el número de carreras en el ciclo de trabajo

Los ciclos termodinámicos en motores de combustión interna alternativos otto y diésel se pueden realizar en dos o en cuatro carreras del pistón.

### Motores alternativos de cuatro tiempos

**Los motores alternativos de cuatro tiempos realizan un ciclo de trabajo por cada cuatro carreras del pistón y, por tanto, cada dos revoluciones o vueltas del cigüeñal (figuras 4.1 y 4.4).**

Durante las cuatro carreras del cilindro el motor realiza el siguiente proceso:

– Primer tiempo o **admisión**.
– Segundo tiempo o **compresión**.
– Tercer tiempo o **expansión**.
– Cuarto tiempo o **escape**.

### Motores alternativos de dos tiempos

**En los motores alternativos de dos tiempos el ciclo de trabajo se realiza cada dos carreras del pistón y, por tanto, en una revolución o vuelta de cigüeñal (figuras 13.31 y 13.32).**

Su uso se justifica **en motores de pequeña potencia** por su sencillez constructiva y, por tanto, por su valor más económico. Estos motores suelen ser de **ciclo otto**.

En cambio, la configuración típica para **grandes potencias** es como la del **motor diésel** de dos tiempos trabajando a bajas revoluciones. Esta solución se adopta debido a que el peso de un motor de igual potencia de cuatro tiempos sería muy elevado. La complejidad de estos motores, parece a priori, que debería ser menor por el hecho de ser de dos tiempos, pero la realidad es que debido a la gran potencia que pueden desarrollar y a su posible tamaño, estos motores pueden ser muy complejos, incluso más que los de cuatro tiempos.

**Vocabulario**

**rpm:** revoluciones por minuto.

**rps:** revoluciones por segundo.

**Equivalencias entre rpm y hertzios**

60 rpm = 1 rps = 1 Hz

## 5.3 > Clasificación según el tipo de refrigeración

**La refrigeración de los motores es necesaria para mantener dentro de unos márgenes aceptables los límites de temperatura de los materiales, el engrase de las piezas y las dilataciones térmicas.**

A medida que aumenta la cilindrada del motor, este se calienta más y, por tanto, necesita sistemas más eficientes de disipación del calor.

Atendiendo a este criterio, los motores pueden estar:

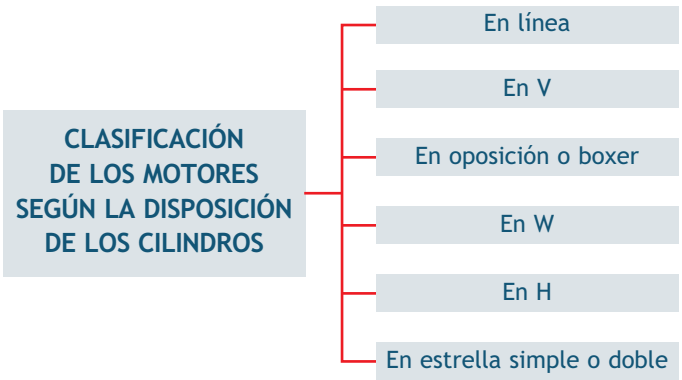
– **Refrigerados por líquido.** El calor sobrante se transmite al líquido refrigerante. Este líquido es transportado a través de unas tuberías a un intercambiador de calor o radiador, desde donde se expulsa al exterior.
– **Refrigerados por aire.** Se inyecta aire en la superficie exterior del cilindro, o en el bloque. El cilindro es aleteado con el fin de aumentar la superficie de contacto del aire con el metal, y para que el proceso de refrigeración sea más eficiente. La inyección del aire puede ser:
  - **Natural.** Por ejemplo, en motocicletas o aviones, debido al movimiento del vehículo.
  - **Forzada.** Mediante un ventilador que fuerza el paso de aire.

**1.16.** Bloque de motor refrigerado por aire.

Hay que tener en cuenta que un motor con un cilindro de 1 000 $cm^3$ se calienta más que otro con cuatro cilindros de 250 $cm^3$, ya que las superficies de intercambio de calor son menores en las versiones de menos cilindros.

## 5.4 > Clasificación según el número y disposición de los cilindros

Los motores policilíndricos, es decir, aquellos que tienen más de un cilindro, también se pueden clasificar en función de las diferentes disposiciones de esos cilindros.




Los motores en línea no pueden ser muy largos, y están limitados por la longitud máxima del motor, y por problemas asociados a vibraciones torsionales. Las disposiciones de los cilindros más usadas en automoción son los motores en línea, motores en V y horizontales opuestos (boxer).

### Potencia específica

Se trata de la relación entre la potencia del motor y su peso o volumen. En automoción interesa que sea lo más alta posible, es decir, se tratan de conseguir motores muy potentes que pesen y ocupen poco volumen.

Se mide en kW/kg o en kW/litro.

### Vocabulario

**Torsión:** esfuerzo que aparece en un eje, cuando se intenta girar un extremo con respecto al otro.

### Líquido refrigerante

No es adecuado decir que un motor está refrigerado por agua, pues el líquido de refrigeración de todos los motores es una composición de varias sustancias, y que por supuesto, tiene mejores propiedades que el agua.

## 5.5 > Clasificación según el tipo de combustible utilizado

En función del combustible consumido, los motores pueden clasificarse en:

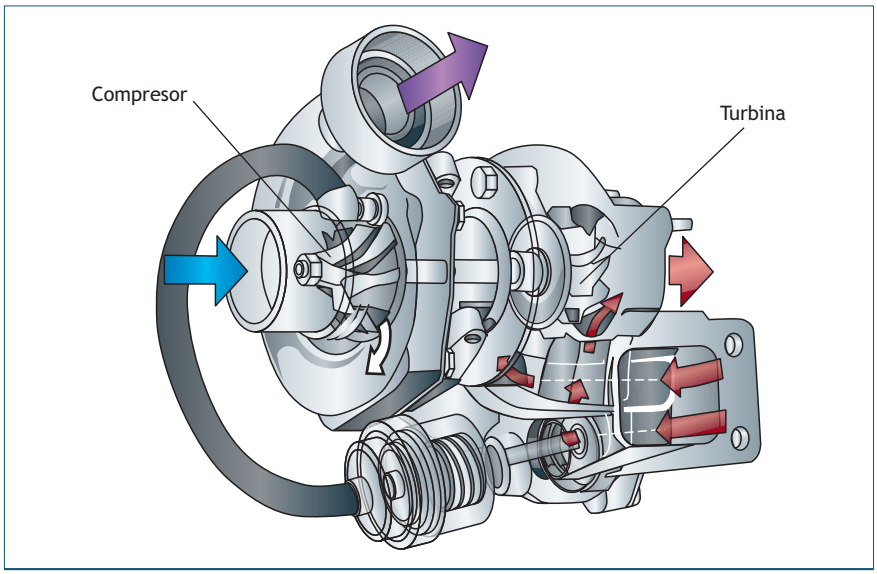
- **Motores de combustible gaseoso.** En estos motores, el combustible quemado es un gas. La ventaja principal de estos motores es que contaminan menos, debido a que la mezcla es homogénea, y a que usan combustibles muy puros. Los gases más utilizados son propano, butano, GLP, éter, etc.
- **Motores de combustible líquido.** El combustible líquido tiene la ventaja de que se almacena en menor volumen y tiene un alto poder calorífico. La facilidad de almacenamiento para obtener un alto poder calorífico, por unidad de volumen, hace que estos combustibles sean los más usados. Los combustibles líquidos cuyo uso está más extendido son la gasolina, el gasóleo, el queroseno, el etanol y el fuel oil pesado.

De especial interés, debido a los problemas con el **efecto invernadero**, son los biocombustibles, los cuales se obtienen de diferentes productos vegetales como: caña de azúcar, remolacha, maíz, colza, girasol, etc. Estos combustibles tienen menor poder calorífico, pero son menos contaminantes que los procedentes del petróleo.

## 5.6 > Clasificación según la presión de admisión

Por último, los motores alternativos pueden clasificarse en función de la presión de admisión del aire aspirado en:

- **De aspiración natural o atmosférica.** La presión en el colector de admisión es la atmosférica o aún menor, debido a la estrangulación que se produce para la regulación de la carga.
- **Sobrealimentado.** La presión en el colector de admisión es superior a la atmosférica. El aumento de presión se consigue con un compresor. El uso de un turbocompresor (figura 1.18), que aproveche la energía residual de los gases de escape, mejora el rendimiento global del motor, por lo que su uso está muy extendido.




**1.17.** Turbocompresor.

## Vocabulario

**GLP:** gas licuado del petróleo.

### Residuo de motores de hidrógeno

El hidrógeno es un combustible cuyo residuo después de la combustión es principalmente agua.

## Actividades finales

1·· Enumera los combustibles que se pueden usar en motores de combustión interna.

2·· ¿Por qué es más caro un motor diésel que otro de gasolina a igualdad de potencia?

3·· ¿Por qué ha descendido el uso de motores alternativos en aviación?

4·· ¿Qué tipo de motor usarías para un avión de aeromodelismo?

5·· ¿Por qué no es conveniente estar mucho tiempo parado y con el motor en marcha en un vehículo refrigerado por aire?

6·· Investiga el rendimiento de un motor diésel y otro eléctrico de 73,5 kW de potencia. ¿Cuál tiene mayor rendimiento? ¿Por qué se usa más el diésel en automoción?

7·· Busca en Internet, un modelo de motor real para cada uno de los tipos según la disposición de los cilindros e indica el vehículo o aplicación para la que se usó.

8·· Encuentra motores reales que cumplan las siguientes características:

- Motor alternativo diésel, con tres cilindros y cuatro tiempos.
- Motor alternativo diésel, de un cilindro y cuatro tiempos.
- Motor rotativo que no sea el wankel.
- Motor de combustión interna, gasolina, de un cilindro y cuatro tiempos.
- Motor alternativo de cinco cilindros en V y de doce cilindros en W.
- Los motores de combustión interna alternativos más grandes y más pequeños del mundo y su aplicación.
- Motor alternativo y reactor acoplados.
- Motor alternativo de hidrógeno.

a) ¿Qué tipo de motor te parece más complejo y difícil de fabricar?
b) ¿Cuál crees que necesitaría mejores materiales?
c) Para el mayor y menor motor alternativo, rellena una tabla como la siguiente y comenta los resultados con tus compañeros:

| | Motor más grande | Motor más pequeño |
|---|---|---|
| | Denominación | Denominación |
| Potencia específica en kW/kg | | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | | |
| Número de Cilindros | | |
| rpm para máxima potencia | | |
| Relación de compresión | | |
| Presión media efectiva (bar) | | |
| Rendimiento | | |
| Consumo específico (g/kWh) | | |
| Regulación de la carga | | |

## Caso final

### Clasificación de los motores

•• Con los datos que se aportan, ¿cuál podría ser el uso idóneo de los siguientes motores? Consulta la página de la Revista de Electromecánica de esta unidad.

### Solución ••

| Motor 1 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 40 kW | Se trata de un motor de gasolina por la relación de compresión. Podría ser de una moto o de un coche de competición, pero descartamos este último por tener únicamente dos cilindros. Además el consumo y potencia específica son elevados, por lo que es fácil que se trate de un motor de 2 tiempos de competición. |
| Potencia específica en | 4 kW/kg | |
| N.º de cilindros | 2 | |
| rpm para máxima potencia | 10 000 | |
| Relación de compresión | 9,5:1 | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | 0,6 | |
| Velocidad media del pistón | | |
| Rendimiento | 22% | |
| Consumo específico | 330 g/kWh | |

| Motor 2 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 45 kW | En este caso se aportan pocos datos, pero suficientes para saber que se tiene que tratar de un motor eléctrico, porque son los únicos que tienen un rendimiento del orden del 88%. Las máquinas térmicas no superan el 60%, y los motores para automoción raramente pasan del 45%. |
| Potencia específica en | 0,2 kW/kg | |
| N.º de cilindros | - | |
| rpm para máxima potencia | 2 850 | |
| Relación de compresión | - | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | - | |
| Velocidad media del pistón | - | |
| Rendimiento | 88% | |
| Consumo específico | - | |

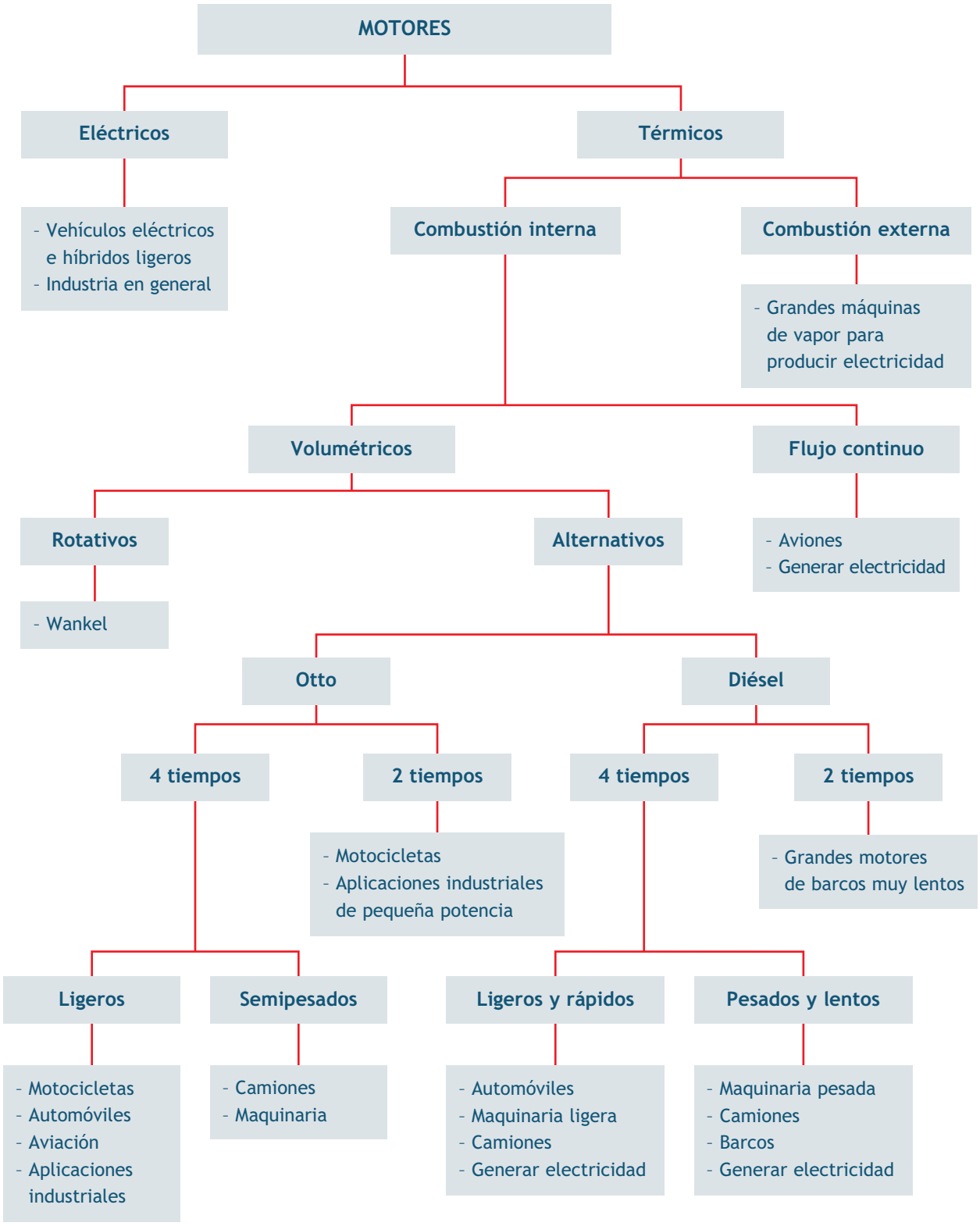
| Motor 3 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 12 000 kW | De todos los datos, salta a la vista las bajas revoluciones, el bajo consumo y la baja potencia específica. Esto nos indica que es probable que se trate de un motor muy lento diésel usado para aplicaciones marinas o estacionarias, y que seguramente sea de 2 tiempos, por la relación alta de L/D. |
| Potencia específica en | 0,1 kW/kg | |
| N.º de cilindros | 14 | |
| rpm para máxima potencia | 110 | |
| Relación de compresión | 19:1 | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | 2,5 | |
| Velocidad media del pistón | 6,5 m/s | |
| Rendimiento | 42% | |
| Consumo específico | 150 g/kWh | |

| Motor 4 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 80 kW | Revisando los valores de los parámetros descritos en la unidad, se observa que se trata de un típico motor de gasolina para automoción, seguramente de un turismo o similar. Que sea una motocicleta no es muy probable porque lo normal es que tenga un valor de rpm para máxima potencia mayor al descrito. |
| Potencia específica en | 1 kW/kg | |
| N.º de cilindros | 4 | |
| rpm para máxima potencia | 5 500 | |
| Relación de compresión | 10:1 | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | 1 | |
| Velocidad media del pistón | 14 m/s | |
| Rendimiento | 30% | |
| Consumo específico | 280 g/kWh | |

| Motor 5 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 9 000 kW | No hay muchos datos, pero la única opción que podría ser posible es que se trate de un motor de aviación (reactor), ya que son los únicos que tienen una potencia específica tan alta y son capaces de proporcionar tanta potencia. |
| Potencia específica en | 7 kW/kg | |
| N.º de cilindros | - | |
| rpm para máxima potencia | - | |
| Relación de compresión | - | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | - | |
| Velocidad media del pistón | - | |
| Rendimiento | 30% | |
| Consumo específico | 300 g/kWh | |

| Motor 6 | Datos | Respuesta |
|---|---|---|
| Potencia | 75 kW | Por la relación de compresión se trata de un motor diésel. Por el bajo consumo, la potencia y la relación L/D es fácil que corresponda a un motor diesel de un turismo, furgoneta o similar. |
| Potencia específica en | 0,4 kW/kg | |
| N.º de cilindros | 4 | |
| rpm para máxima potencia | 3 800 | |
| Relación de compresión | 20:1 | |
| Relación carrera/diámetro (L/D) | 1,1 | |
| Velocidad media del pistón | 10 m/s | |
| Rendimiento | 40% | |
| Consumo específico | 220 g/kWh | |

## Ideas clave


MOTORES
Eléctricos
Térmicos
- Vehículos eléctricos e híbridos ligeros
- Industria en general
Combustión interna
Combustión externa
- Grandes máquinas de vapor para producir electricidad
Volumétricos
Flujo continuo
Rotativos
Alternativos
- Aviones
- Generar electricidad
- Wankel
Otto
Diésel
4 tiempos
2 tiempos
4 tiempos
2 tiempos
- Motocicletas
- Aplicaciones industriales de pequeña potencia
- Grandes motores de barcos muy lentos
Ligeros
Semipesados
Ligeros y rápidos
Pesados y lentos
- Motocicletas
- Automóviles
- Aviación
- Aplicaciones industriales
- Camiones
- Maquinaria
- Automóviles
- Maquinaria ligera
- Camiones
- Generar electricidad
- Maquinaria pesada
- Camiones
- Barcos
- Generar electricidad

# MOTORES ADECUADOS A CADA USO

El motor comodín, apto para muchas aplicaciones, no existe. Por este motivo, hay una gran variedad de motores, que intenta cubrir todas las demandas de la sociedad. Estas demandas son las que marcan el tipo de motor que mejores prestaciones aporte, tanto tecnológicas, económicas como ambientales. En automoción, la demanda suele ser la de un motor ligero, con un consumo medio y un margen de rpm medio-alto.

En el caso de motocicletas, lo idóneo es un peso reducido, por lo que la opción para aumentar la potencia es subir el número de revoluciones, a costa incluso de aumentar el consumo. El margen de rpm es alto y la fiabilidad baja.

Para maquinaria industrial, el peso no es tan crítico y los motores pueden ser algo más pesados. En cambio se les exige fiabilidad, para poder trabajar durante más horas, y un bajo consumo. La fiabilidad requiere piezas mas robustas y pesadas, y por tanto las rpm deben de ser más bajas, a la vez que disminuye el consumo.

| Parámetros más importantes de los MCIA | MEP (Motor de encendido provocado, otto) | | MEC (Motor de encendido por compresión diésel) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Motos | Turismos | Turismos | Camiones atmosféricos | Marinos, ferroviarios y estacionarios de 4T | Marinos y estacionarios de 2T |
| Pot Específica en kW/kg | 1 - 4 | 0,4 - 0,8 | 0,3 - 0,4 | 0,2 - 0,3 | 0,1 - 0,25 | 0,03 - 0,05 |
| Relación carrera/diámetro L/D | 0,6 - 1,1 | | 0,9 - 1,2 | | 1,2 - 1,4 | 1,8 - 3 |
| N.º Cilindros | 1 - 4 | 2 - 6 en línea o 6 - 8 en V | 4 - 6 línea | 4 - 6 línea ó 6 - 10 en V | 1 - 10 en línea u 8 - 20 en V | |
| rpm para Máx. Pot. | 5 000 - 15 000 | 5 500 - 6 000 | 1 800 - 5 000 | | 500 - 1 500 | 70 - 200 |
| Relación de compresión | 8 - 10 | | 12,5 - 23 | | | |
| Velocidad media del piston para rpm Máx. Pot. | 8 - 20 m/s | 8 - 16 m/s | 9 - 13 m/s | | 6 - 11 m/s | 6 - 7 m/s |
| Presión media efectiva (bares) | 4 - 10 | 8 - 14 | 6 - 16 | | 5,5 - 23 | 10 - 15 |
| Rendimiento | 0,25 - 0,35 | | 0,30 - 0,45 | | | |
| Consumo específico (g/kWh) | 220 - 340 | | 150 - 250 | | | |

**Valores de los parámetros más característicos de los distintos tipos de motores**

Otro aspecto muy importante hoy día, es la contaminación. Los diferentes países marcan unos niveles de emisiones que cada vez son más estrictos y difíciles de conseguir. Esto puede provocar que en un futuro el número de motores de combustión interna (MCI) tienda a disminuir, sobre todo en grandes ciudades donde los niveles de contaminación son más altos.

Seguramente este aspecto, junto con el precio del petróleo y el gas, será el que más condicione el descenso en el uso de los motores de combustión interna y la aparición de motores híbridos, eléctricos o con pila de combustible, de manera más generalizada.

unidad 2

# Elementos constructivos del motor térmico

## SUMARIO

- Elementos estructurales o fijos
- Tren alternativo
- Mecanismos y circuitos auxiliares

## OBJETIVOS

- Conocer las distintas partes que constituyen el motor.
- Comprender los distintos esfuerzos a los que están sometidas las partes del motor.
- Saber la misión de cada elemento constructivo.
- Distinguir entre elementos fijos, el tren alternativo y los mecanismos y circuitos auxiliares del motor.
- Concebir una idea general del motor térmico alternativo.

## 1 >> Introducción a los motores térmicos

La energía química en forma de combustible que se almacena en el depósito de los vehículos se transforma en energía mecánica o movimiento gracias a los motores.

En los vehículos actuales, los elementos constructivos de los motores siguen siendo los mismos que antaño, aunque se han modificado sus formas constructivas, sus materiales, la tecnología de fabricación, etc.

La clasificación de los elementos constructivos del motor es la siguiente:

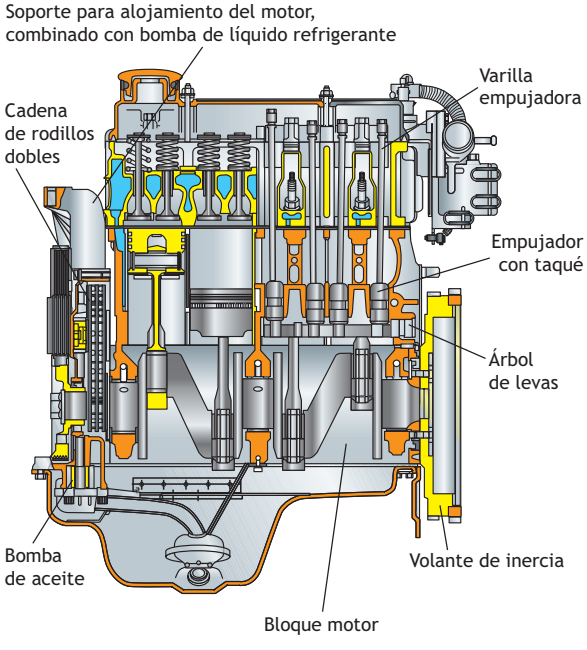
**ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL MOTOR**

| Elementos estructurales o fijos | Elementos motrices | Mecanismos o circuitos auxiliares |
|---|---|---|
| - Bloque motor<br>- Culata<br>- Tapa de balancines<br>- Cárter | - Pistones<br>- Segmentos<br>- Bulones<br>- Bielas<br>- Cigüeñal<br>- Casquillos de bancada<br>- Casquillos de biela | - Distribución<br>- Circuito de engrase<br>- Circuito de refrigeración |

De forma general, los ciclos de los motores se dividen en cuatro tiempos:

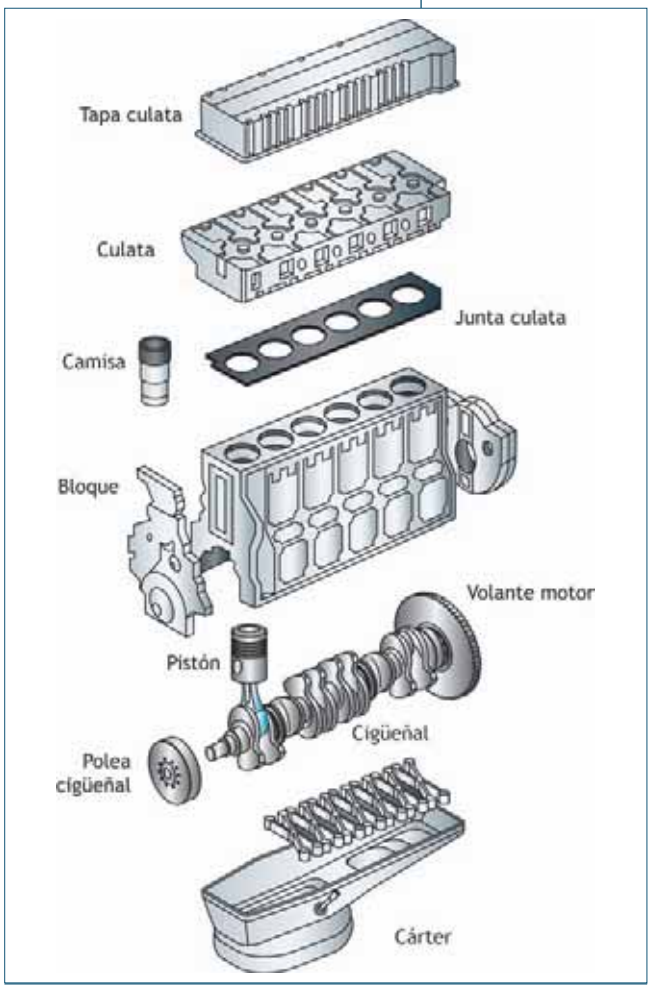
- **El tiempo de admisión.** El motor recibe gases frescos.
- **El tiempo de compresión.** Los gases se comprimen y se hacen más inflamables.
- **El tiempo de expansión.** Se produce la combustión y con ella el aporte de trabajo mecánico hacia la transmisión.
- **El tiempo de escape.** Los gases quemados se evacúan para volver a admitir gases frescos y repetir este ciclo.

Los **elementos motrices** (figura 2.1) transforman un movimiento lineal alternativo del pistón en uno rotatorio en el cigüeñal. La **distribución** se encarga de abrir y cerrar los conductos de entrada de gases frescos y salida de gases quemados. El motor además debe ser lubricado por un **circuito de engrase** para evitar daños y pérdidas energéticas por rozamientos y también debe ser refrigerado por un **circuito de refrigeración** para que no se produzcan daños por excesos de temperaturas.




**2.1.** Sección de un motor.

## 2 >> Elementos estructurales o fijos del motor




**2.2.** Elementos estructurales o fijos y motrices.

**Los elementos estructurales o fijos del motor son piezas que sirven de alojamiento, soporte y guiado a las partes motrices del motor.**

Los elementos fijos del motor son (figura 2.2):

- El bloque motor.
- La culata.
- El cárter.
- La tapa de balancines o de culata.

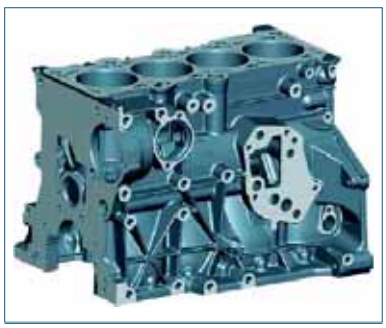
### 2.1 > Bloque motor

El bloque motor (figura 2.3) es la pieza más importante del motor. Va anclado a la carrocería a través de *silentblocks* que proporcionan una unión elástica que se encarga de absorber las vibraciones del motor para que no se transmitan a la carrocería y a sus ocupantes.

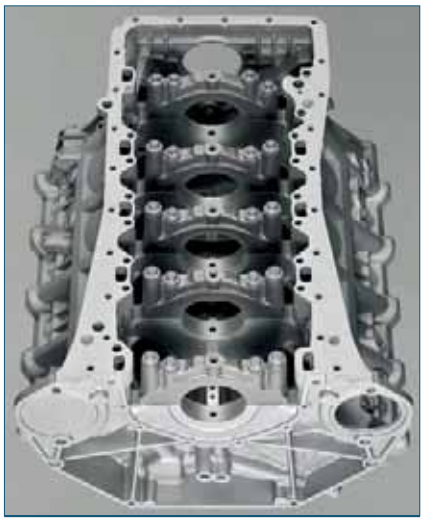
El bloque tiene practicados unos orificios, llamados **cilindros**, donde se alojan, guían y desplazan los pistones con un movimiento alternativo. Los cilindros tienen varias utilidades:

- Recipiente para contener la mezcla aire-combustible que se va a quemar.
- Cámara de expansión de dicha mezcla.

Sobre la parte superior del bloque se practica una cara totalmente plana sobre la que se asienta la culata con interposición de la junta de culata, para conseguir la estanqueidad entre ambas piezas. La unión de estas dos piezas, a través de tornillos de culata, debe ser muy resistente debido a que deben soportar grandes esfuerzos producidos por la combustión.



**2.3.** Bloque motor.



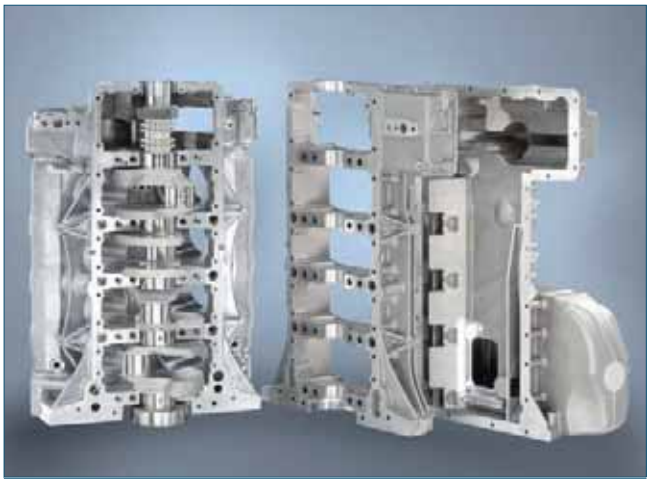
**2.4.** Bloque con sombreretes independientes de bancada.

Sobre la parte inferior se mecaniza la bancada, donde se aloja el cigüeñal con interposición de unos casquillos de fricción. Esta bancada puede ser de sombreretes independientes, en los bloques de función (figura 2.4), o de una tapa de bancada o semicárter que es más rígido, sobre todo en los bloques de aleación de aluminio (figura 2.5).

El cigüeñal es la pieza que recibe el movimiento alternativo de los pistones a través de las bielas y que gira para transmitir el movimiento.

Además el bloque sirve para:

- Anclar diferentes mecanismos o circuitos auxiliares como la distribución, la refrigeración, el engrase, etc.
- Conducir los fluidos de los circuitos de refrigeración y engrase a los lugares donde se necesiten a través de unos orificios mecanizados.
- Atornillar la caja de cambios.



**2.5.** Bloque con semicárter de bancada.

### Características de los bloques

Deben tener las siguientes características para un funcionamiento correcto:

- Alta rigidez o resistencia estructural.
- Gran resistencia al desgaste.
- Buena capacidad de evacuación del calor.

### Tipos de bloques

Los bloques se clasifican atendiendo a la forma de fabricar los cilindros:

- **Bloques con camisas integrales.** Las camisas se mecanizan directamente en el bloque.
- **Bloques con camisas secas.** Las camisas son postizas y se meten a presión en el bloque. La camisa no tiene contacto directo con el circuito de refrigeración.
- **Bloques con camisas húmedas.** Las camisas también son postizas, no van a presión y tienen contacto directo con el sistema de refrigeración.

### Materiales

Los bloques suelen estar fabricados en fundición de hierro, también llamada fundición gris, o en aleación ligera de aluminio, siendo estos últimos más ligeros, con mayor disipación térmica y menos resistentes.

## 2.2 > Culata

**La culata es la pieza que hace el cierre superior del bloque. La culata y el bloque van unidos por sus superficies perfectamente planas con interposición de una junta, llamada junta de culata, de unas características y tecnologías muy especiales. Están unidos por unos pernos roscados que aseguran la estanqueidad entre culata y bloque.**

La culata (figura 2.6) es un elemento muy costoso de fabricar. En su diseño y fabricación hay que tener en cuenta que en su interior debe alojar:

- Las cámaras donde se realiza la combustión.
- Parte de los colectores de admisión y de los colectores de escape con sus respectivas válvulas, balancines, taqués, árboles de levas y demás elementos de la distribución.
- Conductos para el paso del líquido refrigerante y lubricante.
- Bujías de encendido o bujías de precalentamiento.
- Inyectores.
- Orificios para los tornillos de culata y diferentes espárragos.
- Varias zonas planas para el acoplamiento a otros elementos.

**2.6.** Culata.

La culata, junto con su junta de estanqueidad, son los elementos que más frecuentemente provocan averías debido a los esfuerzos que tienen que soportar causados por las elevadas presiones y temperaturas que soportan.

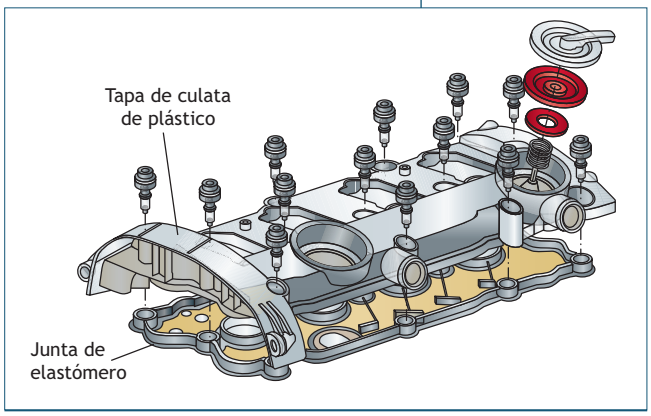
### Tipos de culatas

Existen culatas para motores diésel y para motores de gasolina, siendo la principal diferencia entre ellas la forma que tiene la cámara:

– En los motores diésel la culata suele ser plana, quedando la cámara practicada en el pistón o en una precámara que comunica con el cilindro a través de un pequeño orificio (figura 7.18).
– En los motores de gasolina la cámara suele estar practicada en la culata, existiendo distintas formas como la de bañera, cuña, hemisféricas, Heron, etc (figuras 7.11 y 7.12).

### Materiales

Los materiales de fabricación son el hierro fundido y las aleaciones de aluminio, como en los bloques, siendo las más usadas, con diferencia, las de aleación de aluminio, sobre todo por su mejor disipación térmica.




**2.7.** Tapa de culata o balancines.

## 2.3 › Tapa de culata o de balancines

**La tapa de culata o de balancines es la que se encarga de hacer el cierre estanco de la parte alta de la culata.**

La tapa de culata (figura 2.7) da acceso a elementos de distribución para su reparación y mantenimiento, como árboles de levas, taqués, balancines, etc.

Se encarga de estanqueizar el aceite y sus vapores, condensándolos y volviéndolos líquidos otra vez para que caigan por gravedad a través del motor. Para hacer dicha estanqueidad se interpone entre esta y la culata la junta de la tapa de balancines.

## 2.4 › Cárter

**El cárter es la tapa que cierra el bloque motor por su parte inferior de forma estanca. Tiene la misión de hacer de depósito de aceite, refrigerándolo ligeramente. Alberga el tapón de vaciado para realizar el cambio de aceite y puede alojar sensores de temperatura, nivel de aceite, etc.**

**2.8.** Cárter mixto.

Para hacer la estanqueidad entre bloque y cárter se interpone una junta de elastómeros, papel o cordón líquido de poliuretano o silicona.

El cárter se puede fabricar con distintos materiales, como pueden ser:

– Chapa estampada. Se abolla al ser golpeada sin sufrir pérdidas de aceite.
– Aleación de aluminio. Pesa poco y refrigera mucho más.

Se recurre muchas veces a una solución intermedia. En este caso, el cárter se compone de dos piezas (figura 2.8): la superior de aluminio para refrigerar y la inferior de chapa para evitar las fugas de aceite por impactos.

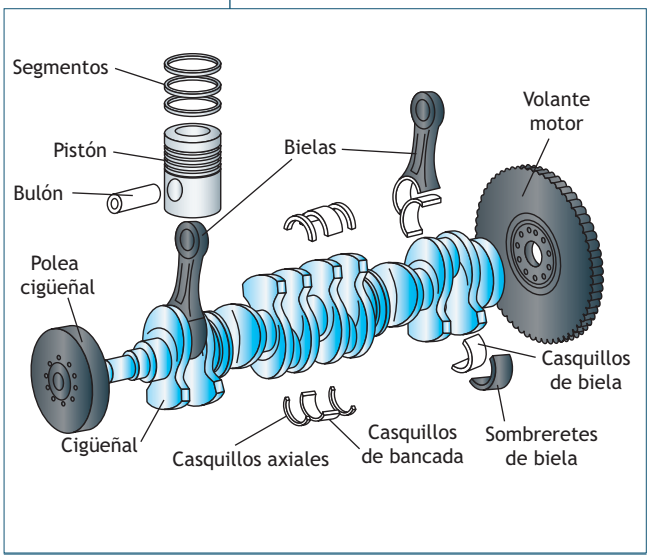
## 3 >> Tren alternativo

**El tren alternativo está formado por los elementos móviles del motor. Son los encargados de transformar la energía química del combustible en energía mecánica.**

Las piezas del tren alternativo (figura 2.9) son:

– Pistón.
– Segmentos.
– Bulón.
– Biela.
– Cigüeñal.
– Volante motor.

El pistón realiza un movimiento lineal alternativo: baja empujado por la combustión que se hace sobre su cabeza y sube empujado por la energía almacenada en el volante motor. Este movimiento (figura 2.10) se transmite por medio del bulón a la biela y esta, a su vez, lo transmite al cigüeñal que se aloja en la bancada del bloque.




**2.9.** Tren alternativo del motor.

El movimiento lineal alternativo del pistón se transforma en movimiento de rotación del cigüeñal. Este movimiento es el que posteriormente se va a aprovechar y extraer del motor.

El movimiento del pistón tiene una dirección pero cambia de sentido continuamente, produciéndose su parada en el punto más alto o punto muerto superior (PMS) y en el punto más bajo o punto muerto inferior (PMI). Por tanto, no se trata de un movimiento lineal continuo. Sin embargo, el movimiento del cigüeñal es de rotación continua, aunque su velocidad no es uniforme.

### 3.1 > Pistón o émbolo

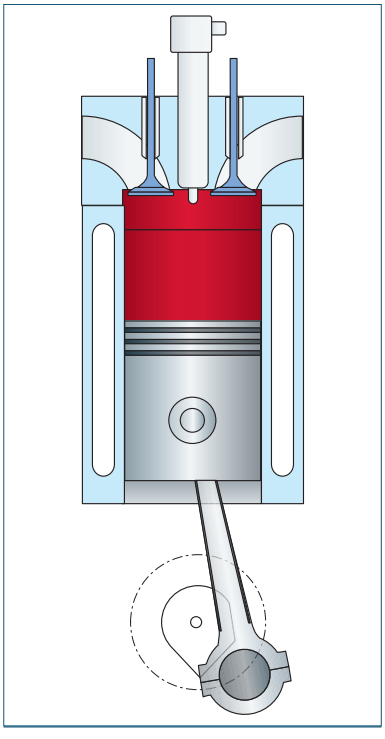
**El pistón es el elemento del motor que se desplaza dentro del cilindro con movimiento lineal alternativo, sirviéndole el cilindro como guía.**

Sobre la cabeza del pistón se produce la combustión o fuerza de expansión de los gases. Esta fuerza empuja el pistón hacia abajo en su carrera descendente y, a su vez, el pistón transmite el movimiento a la biela a través del bulón y la biela al cigüeñal.

#### Características de los pistones

El pistón es una pieza del motor sometida a condiciones como:

– Presiones muy elevadas.
– Inercias de aceleraciones y desaceleraciones al pasar de los puntos muertos, lugar donde la velocidad es cero, al punto central de su carrera, lugar donde la velocidad es máxima, y viceversa.
– Variaciones de temperaturas muy bruscas.



**2.10.** Movimiento visto axialmente.

### Velocidad media del pistón

El pistón sube y baja constantemente, teniendo que parar en sus puntos muertos superior e inferior. De aquí se deduce que la velocidad del pistón no es uniforme, por ello se calcula la velocidad media del pistón. La velocidad media del pistón está en torno a 12 m/s como máximo. El límite se debe a que a muy altas revoluciones hay problemas de lubricación entre cilindro, segmentos y pistón. Mejorando la calidad del aceite se puede aumentar el número de revoluciones máximo.

**2.11.** Pistón de motor de inyección diésel.

Por tanto, las características principales de los pistones deben ser:

- Diseño, materiales y fabricación específicos para cada tipo de motor.
- Resistencia a altos esfuerzos mecánicos y a elevadas temperaturas.
- Alta conductibilidad térmica y capacidad para disipar bien el calor hacia el circuito de refrigeración.
- Estanqueizar lo mejor posible.
- Tener bajo coeficiente de dilatación para tener una holgura lo más constante posible en el cilindro.
- Alta cualidad de deslizamiento, pues sufre rozamientos muy importantes.
- Ser lo más ligero posible para evitar grandes inercias.

### Materiales

Los materiales más usados en la fabricación de los pistones son el aluminio y el silicio.

El proceso de fabricación puede ser por fundición en coquilla o el forjado por estampación. Después se mecanizan y son tratados térmica o químicamente en su parte exterior para aumentar más aún su resistencia y capacidad de deslizamiento.

### Partes del pistón

Un pistón (figura 2.11) está constitutito por las siguientes partes:

- **Cabeza.** Debe tener una conducción térmica muy alta y gran resistencia mecánica. En los motores diésel de inyección directa aloja la cámara de combustión o deflectores, que mejoran la homogeneización de la mezcla y la combustión.
- **Zona de segmentos.** Es la parte cajeada que aloja los segmentos, tres generalmente. En el cajeado superior, que es el que más sufre las presiones y temperaturas elevadas, se suele poner un cajeado postizo de fundición.
- **Zona de alojamiento del bulón.** Es la zona más robusta y reforzada de este, pues aquí es donde se transmite el movimiento al pie de biela.
- **La falda del pistón.** Es la parte inferior del mismo y sirve para hacer el guiado del pistón y evitar que cabecee. En la falda se suele colocar una serigrafía de grafito y molibdeno para disminuir el rozamiento con el cilindro. La falda suele ser más larga en las zonas transversales al bulón.

## 3.2 > Segmentos

**Los segmentos son aros elásticos abiertos, situados en cajeados del pistón, que hacen la estanqueidad entre el cilindro y el pistón. Son los encargados de transmitir la mayor parte del calor de la combustión recibido por el pistón y cederla al cilindro, donde lo disipa el sistema de refrigeración.**

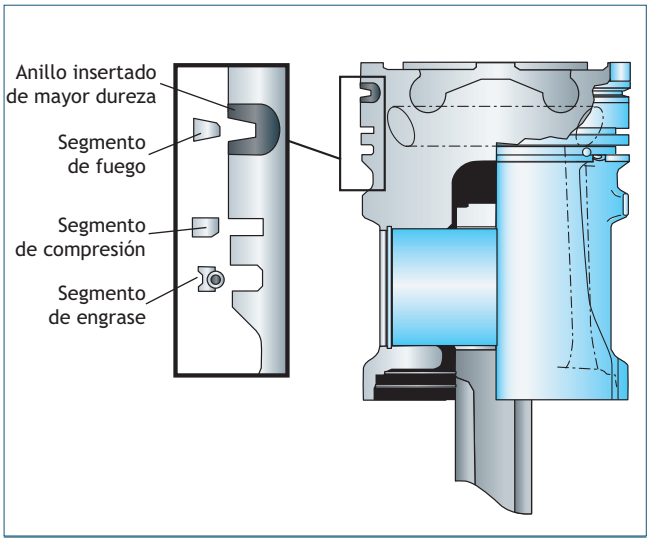
La disipación del calor también se produce gracias al aceite que queda impregnado en el cilindro y que los segmentos rascan y lo hacen caer por el interior del pistón y, de ahí, al cárter. El hecho de recoger el aceite evita que este pase a la cámara y se queme, evitando así el consumo excesivo de aceite y logrando una menor contaminación.

### Tipos de segmentos

Lo más habitual es encontrar pistones con tres segmentos (figura 2.12), aunque existen otros con cuatro, como por ejemplo en los vehículos industriales, o incluso con dos, en motores pequeños. La sección de los segmentos varía en función de su posición y sus características.

En el caso de que haya tres segmentos, son los siguientes:

– **Segmento de fuego.** Es un segmento de compresión. Va alojado en el mecanizado de la parte superior del pistón. Soporta la combustión directamente y es el que tiene que disipar más calor.
– **Segmento intermedio o de compresión.** Tiene como misión reforzar al primer segmento reteniendo la compresión, además de ayudar al siguiente a rascar el aceite que haya quedado y que recogerá este último.
– **Segmento de engrase o rascador.** Situado en la parte inferior. Rasca la mayor parte del aceite, lo recoge para que no pase a la cámara de combustión y lo hace pasar, por unos orificios que se practican en su cajeado, a la parte interior del pistón para refrigerarlo. El segmento de engrase suele estar constituido por varias piezas, entre ellas un muelle que asegura el buen contacto con el cilindro.




**2.12.** Ubicación de los segmentos.

### Materiales

Los segmentos se realizan por fundición de hierro aleado con otros materiales. Los segmentos de fuego suelen llevar un baño electrolítico cromado.

## 3.3 › Bulón

**El bulón es el eje a través del cual se unen el pistón y el pie de la biela. Por él se transmite toda la fuerza de la combustión (figura 2.13). Se trata de una pieza hueca sometida a esfuerzos de flexión.**

La unión entre el bulón y el pie de la biela puede ser:

– **De bulón flotante.** Permite cierta oscilación de la biela y hay que interponer entre ellos un casquillo de bronce y hacerle llegar lubricación.
– **De bulón fijo.** Se fija el bulón al pie de biela por interferencia o apriето. En este caso, el diámetro del bulón es ligeramente mayor que el del pie de biela, así se consigue su fijación.

### Materiales

El bulón se suele fabricar de acero aleado. Posteriormente se añade un tratamiento superficial de nitruración o cementación.

## 3.4 › Bielas

**La biela es la pieza que transmite la fuerza del pistón al cigüeñal y es clave en la transformación del movimiento lineal alternativo del pistón en un movimiento de rotación del cigüeñal.**

### Vocabulario

**Esfuerzo de flexión:** esfuerzo que sufre una pieza cuando, estando apoyada en sus extremos, se ejerce una fuerza en el centro.

**2.13.** Detalle de la robustez de un bulón.

### Desplazamiento del bulón

La mayoría de los pistones tienen ligeramente desplazado el eje del bulón para hacer los desgastes más uniformes en ambas partes del cilindro. Esto se hace para reducir el campaneo cuando el pistón sube apoyado en una parte del cilindro y baja apoyado en la parte opuesta del mismo.

**2.14.** Bielas con pie trapezoidal.

### Características

Está constituida por un cuerpo (figura 2.14), con sección en forma de H o doble T, que en su extremo superior aloja el pie de biela, orificio donde se aloja el bulón para unirse con el pistón y donde va a recibir el empuje de la combustión.

En su extremo inferior va alojada la cabeza de biela, generalmente con una pieza independiente, llamada sombrerete de biela. Esta pieza puede ir dividida perpendicularmente al eje de la biela, sobre todo en motores pequeños, o de forma oblicua, cuando la anchura de la cabeza de la biela es mayor que el diámetro del cilindro, en motores más grandes.

La unión del sombrerete de biela a la biela propiamente dicha se suele hacer a través de dos pernos roscados de gran calidad. La cabeza de biela lleva alojados los semicojinetes de fricción para evitar el rozamiento directo entre la biela y el cigüeñal. El cuerpo de la biela va aumentando su sección desde la inserción del pie de biela hasta la inserción de la cabeza de forma progresiva. La biela puede llevar un orificio que comunica la cabeza de biela con el pie de biela para hacer llegar aceite a presión, procedente del cigüeñal, hacia el bulón flotante.

En motores pequeños, como en los de motocicletas, las bielas tienen la cabeza en una sola pieza porque el cigüeñal es desmontable y entre medias se coloca un rodamiento de agujas en vez de casquillos de fricción.

### Características de las bielas

La biela debe ser robusta pero lo más ligera posible para reducir sus inercias y soportar los esfuerzos mecánicos a los que está sometida:

- **Esfuerzos de tracción.** Al admitir la mezcla.
- **Esfuerzos de compresión y flexión.** Al transmitir la fuerza de combustión y al hacer la compresión.

### Materiales

Se suelen fabricar por fundición de hierro o forjado por estampación de hierro al carbono aleado con otros materiales. Posteriormente se mecanizan los taladros de engrase y los orificios para el bulón y el cigüeñal.

## 3.5 > Cigüeñal

**El cigüeñal es un árbol motriz, donde se albergan tantos codos como cilindros tenga el motor, recibe la fuerza de la combustión a través de las bielas y se convierte en un par que hace girar al cigüeñal.**

### Características

La forma del cigüeñal (figura 2.15) depende del número de cilindros, el tipo de motor, el orden de encendido, el número de apoyos en la bancada, etc.

#### Bielas con pie trapezoidal

El pie de biela suele ser en la actualidad trapezoidal para aumentar las superficies de trabajo del pistón y de la biela, reduciendo así la presión y, por consiguiente, los esfuerzos mecánicos.

#### Par motor

El par es el producto de la fuerza por la distancia.

$$M = F \cdot d$$

Cuando aplicamos la fuerza de la combustión sobre la muñequilla del cigüeñal se genera un par. En el motor la fuerza que recibe el pistón sobre su cabeza varía constantemente y la distancia de aplicación, al girar la muñequilla, también está variando de forma continua, luego el par instantáneo del motor varía también constantemente. Este par es el que luego se va a transmitir a las ruedas para iniciar primero el movimiento y luego mantenerlo.

#### Número de apoyos del cigüeñal

Actualmente el número de apoyos del cigüeñal a la bancada en los motores en línea suele ser igual al número de cilindros más uno.

Las principales partes del cigüeñal son:

- Muñequillas de bancada o puntos de giro. Son puntos alineados en un mismo eje sobre los que gira el cigüeñal apoyado en la bancada.
- Muñequillas de biela o puntos de giro de las cabezas de biela. Las muñequillas suelen ir desalineadas entre sí, según el tipo de motor.
- Contrapesos para equilibrar el conjunto y evitar vibraciones.
- El plato de amarre en uno de sus extremos donde se atornilla el volante motor o de inercia.
- El chavetero en el otro extremo para fijar el piñón de la distribución y la polea para la correa de accesorios.

El cigüeñal soporta grandes fricciones y para evitar el desgaste debe ir lubricado a presión. Es una pieza sometida a efectos de torsión y flexión, cada vez que una biela le transmite la fuerza de la combustión y lo hace girar, por lo que debe tener una cierta flexibilidad y soportar también vibraciones e inercias importantes.

El cigüeñal recibe aceite a presión primeramente a los apoyos de bancada y de ahí se pasa también a presión a las muñequillas de biela a través de unos orificios, que se practican una vez fabricado el cigüeñal, que unen las muñequillas de bancada con las de biela para el engrase.

**Vocabulario**

**Muñequilla:** zonas mecanizadas externamente a los ejes y los árboles de forma cilíndrica donde se apoyan para girar un eje.

**2.15.** Cigüeñal.

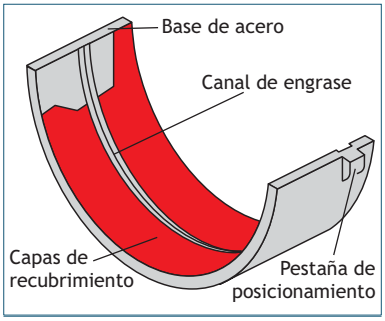
### Materiales

Los cigüeñales se fabrican en fundición de hierro aleados con otros materiales. Los más comunes son los forjados por estampación de acero aleado. Posteriormente se les da un tratamiento superficial que puede ser nitruración, cementación, temple o revenido.

## 3.6 › Casquillos de fricción o semicojinetes

**Los casquillos de fricción o semicojinetes (figura 2.16) son elementos que se interponen entre las muñequillas de bancada del cigüeñal y la bancada propiamente dicha y entre las muñequillas de biela del cigüeñal y las bielas. Su misión es reducir el coeficiente de fricción entre estas piezas y, por consiguiente, eliminar temperaturas elevadas y desgastes.**

Existen también los llamados casquillos axiales que se intercalan entre el cigüeñal y la bancada y sirven para limitar el juego axial de este. Algunas veces van incluidos directamente en los casquillos de bancada centrales en una sola pieza (figura 9.10).




**2.16.** Semicojinetes.

### Características

Las características principales de los casquillos son:

- Alta resistencia a la compresión.
- Evitar el gripaje, la fatiga y el desgaste.
- Tener una alta conductibilidad térmica.
- Permitir la incrustación de partículas sólidas del aceite sin dañar al cigüeñal.

### Volantes bimasa

Los volantes más modernos van divididos en dos masas unidas entre ellas por muelles que se encargan de absorber las aciclidades del motor para que no se pasen a la transmisión. Estos volantes son conocidos como volantes bimasa.

### Materiales

Están fabricados de un material especial para soportar la fricción. Ayudados por el sistema de engrase, que rellena con una fina capa de aceite a presión la holgura entre casquillo y muñequilla, consiguen reducir en gran medida el coeficiente de fricción.

Están construidos por pletina de acero convenientemente curvada al radio necesitado, formando un semicírculo, recubierta interiormente, donde se realiza la fricción, de distintas capas de aleaciones como el estaño, cobre, plomo y aluminio. La pletina de acero tiene unas pestañas de posicionado para que queden bien alojados y no se giren.

## 3.7 > Volante motor

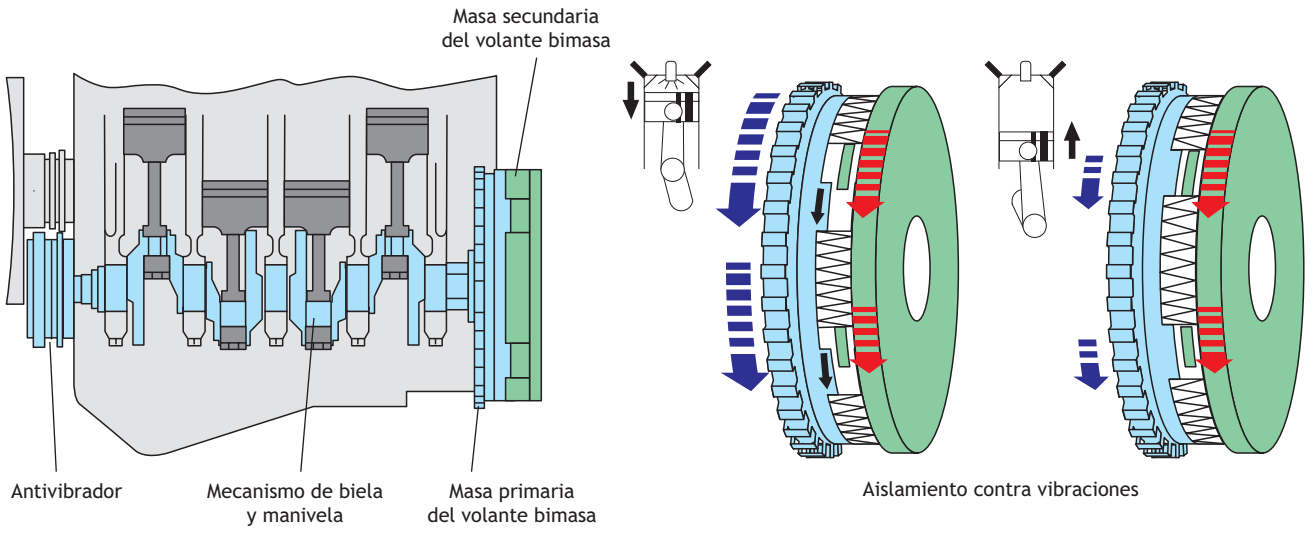
En los motores térmicos alternativos de cuatro tiempos las combustiones no se suceden uniformemente y existen más carreras que no producen trabajo que las que sí lo producen. Por ello se crean aciclidades del motor que se intentan subsanar con la colocación de un volante motor (figura 2.17).

**El volante motor es la pieza encargada de almacenar energía cinética de las carreras de trabajo o motrices y cederla en las carreras no motrices. Para ello tiene que tener una masa importante.**

Además tiene la función de alojar en su perímetro exterior una corona colocada por interferencia que sirve para que engrane el piñón del motor de arranque.

También suele llevar otra corona de dientes almenados para el sensor de revoluciones de motor, empleada en el encendido y la inyección.

Sobre el volante motor se atornilla el conjunto del embrague en los automóviles. Lleva una zona mecanizada sobre la cual fricciona el disco de embrague.




**2.17.** Volante motor bimasa y antivibrador.

## 4 >> Mecanismos y circuitos auxiliares

Entre los mecanismos y circuitos auxiliares se encuentran:

– **La distribución.** Permite la entrada de la mezcla que se va a quemar en el motor y la posterior expulsión de los gases quemados.
– **El circuito de engrase.** Lubrica y refrigera todas las partes móviles del motor, reduciendo sus rozamientos y, por tanto, sus desgastes.
– **El circuito de refrigeración.** Disipa el calor generado en la combustión y en los rozamientos para evitar dilataciones e incluso fusiones o gripajes de los materiales.

Todos ellos forman parte del motor y son imprescindibles para su funcionamiento.

### 4.1 > Mecanismo de la distribución

**El mecanismo de la distribución se encarga de abrir y cerrar las válvulas de forma sincronizada para poder realizar los tiempos de un ciclo del motor.**

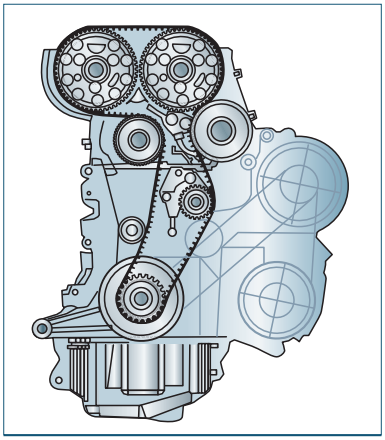
El mecanismo de la distribución (figura 2.18) consta de un árbol de levas accionado por el propio cigüeñal, que gira a la mitad de revoluciones que este y que se encarga de abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape de una forma totalmente sincronizada. Para ello el sistema utiliza otros elementos como taqués, varillas, balancines, eje de balancines, etc.

La disposición del árbol de levas puede ser en el bloque o en la culata y el accionamiento de este puede ser desde el cigüeñal por medio de:

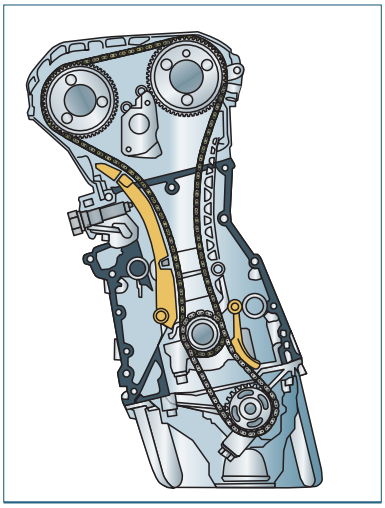
– **Correa de distribución** (figura 2.18). Es muy silenciosa aunque requiere más mantenimiento que los siguientes y debe mantenerse protegida y limpia.
– **Cadena de distribución** (figura 2.19). Es más ruidosa que la anterior. Necesita alguna forma de engrase, debe ir en un cárter totalmente estanco y tiene menos mantenimiento que la anterior.
– **Cascada de engranajes** (figura 2.20). Es el mecanismo más fiable, aunque también el más ruidoso y el que absorbe más potencia. Requiere poco mantenimiento.

Las **válvulas de admisión** se abren teóricamente en el punto muerto superior (PMS) y se cierran en el punto muerto inferior (PMI). Estas permiten el paso de gases frescos al cilindro en el tiempo de admisión y lo evitan en el resto de los tiempos. El número de válvulas de admisión varía de una a tres válvulas por cilindro.

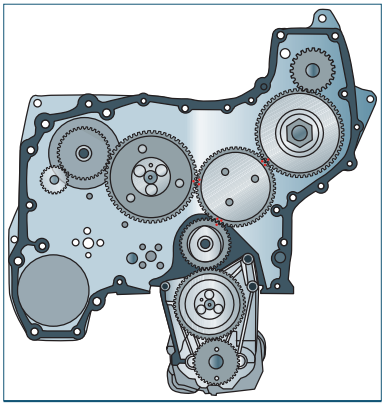
Las **válvulas de escape** abren teóricamente en el PMI y cierran en el PMS. Se abren para la salida de los gases quemados hacia el escape durante el tiempo de escape y se cierran el resto de los tiempos. Suele haber una o dos válvulas de escape por cilindro. En la práctica no ocurre así, sino que las válvulas tienen un avance en la apertura y un retraso en el cierre. El avance en la apertura de admisión y el retraso en el cierre del escape hacen que haya un momento en que permanecen abiertas las dos válvulas parcialmente y así se mejora el llenado del cilindro y el vaciado de los gases de escape, este momento es el llamado cruce de válvulas.



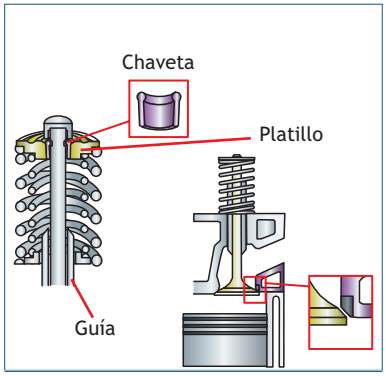
**2.18.** Accionamiento por correa de distribución.



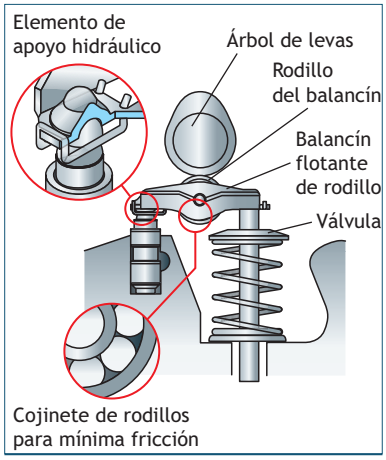
**2.19.** Accionamiento por cadena de distribución.



**2.20.** Accionamiento por cascada de engranajes.




**2.21.** Detalle de una válvula y su alojamiento.




**2.22.** Accionamiento de una válvula.

El árbol de levas tiene mecanizadas unas levas que, al girar, abren o cierran las válvulas venciendo sus muelles, que van sujetos mediante unos platillos y chavetas (figura 2.21):

- El cierre de las válvulas se produce al desaparecer la leva.
- La apertura de las válvulas no se suele hacer directamente desde las levas del árbol, sino que se suelen interponer unos taqués y, a veces, unos balancines (figura 2.22). Si el árbol va en el bloque, al aumentar la distancia se interponen unas varillas entre los taqués y los balancines.

Las válvulas se alojan a presión dentro de unas guías postizas en la culata más duras que esta. A su vez, las válvulas cierran a presión los colectores sobre unos asientos postizos de mayor dureza que el material de la culata.

## Características

El árbol de levas está sometido a fuerzas de torsión, a altas revoluciones y al desgaste de sus apoyos y del flanco de sus levas. Los apoyos del árbol en la culata van engrasados a presión. En uno de sus extremos el árbol lleva una polea para realizar su arrastre desde el cigüeñal y en el otro extremo se puede alojar otra polea para accionar indirectamente la bomba de vacío para el servofreno, una bomba de alta presión, etc.

Las válvulas deben tener alta resistencia mecánica y alta conductividad térmica para evacuar el calor a la culata. Las válvulas están sometidas a:

- Elevadas presiones de combustión.
- Altas temperaturas.
- Corrosión y desgaste, pues tienen mal engrase.
- Deformaciones por golpeteo constante al abrir y cerrar.

Las válvulas están formadas por la cabeza, que hace el cierre de los conductos, y un vástago sobre el que se guía en su movimiento alternativo. En la cabeza llevan mecanizado un asiento con un ángulo de 45°.

### Materiales

Los materiales utilizados en el sistema de distribución dependen del elemento en cuestión:

- El **árbol de levas** suele ser de fundición de hierro o de acero forjado, seguido de un tratamiento térmico y/o químico.
- Las **válvulas** son de acero. Las de escape llevan distintas aleaciones porque deben ser mucho más resistentes a la temperatura y disipar mejor el calor. Se pueden hacer de distintos materiales, dependiendo de la solicitación de cada parte de la válvula.
- Los **muelles** están fabricados de acero al carbono aleados con bastante silicio para conseguir una alta elasticidad y baja fatiga con el uso.
- Las **guías** son de fundición de hierro. Deben tener buena conductibilidad térmica y alta resistencia al desgaste.
- Los **asientos de válvulas** son de fundición de hierro pero fuertemente aleados para que soporten el golpeteo constante y disipen el calor.
- Los **taqués** son de fundición de hierro y llevan un tratamiento de dureza, generalmente térmico.
- Los **balancines** se fabrican de fundición o estampados en chapa de acero.

### Válvulas huecas

Algunas válvulas de escape van huecas y llevan sodio en su interior, dejando un hueco con aire. A partir de 90 °C el sodio se licua y se mueve en contra del movimiento alternativo de la válvula. Así, cuando la válvula está cerrada coge el calor de la cabeza y cuando abre lo pasa a la cola para que disipe el calor por la guía.

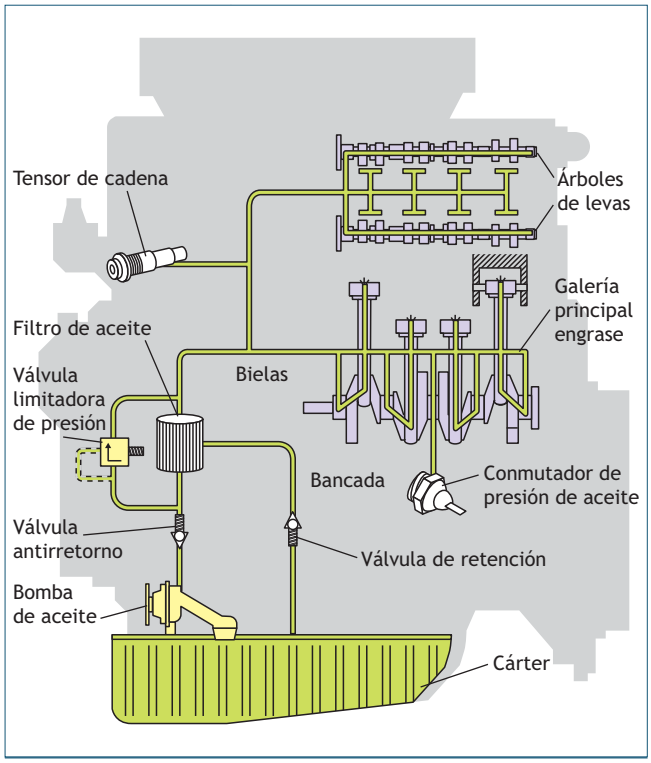
## 4.2 > Circuito de engrase

El circuito de engrase se encarga de reducir los rozamientos dentro del motor, disminuyendo así los aumentos de temperatura.

Los rozamientos provocados por el desplazamiento y giro de las piezas del motor se pueden limitar de dos maneras:

– Interponiendo piezas de distinto material y bajo coeficiente de fricción. Esta solución no es suficiente.
– Interponiendo una película de lubricante que evita el contacto físico entre metales (figura 2.23).

El circuito de engrase permite producir menos calor en el motor y garantizar menores pérdidas de energía, consiguiendo así alargar la vida del motor.




**2.23.** Circuito de engrase.

### Características

El circuito de engrase consta de:

– Un depósito o cárter, generalmente en la parte baja del motor. En él se sumerge una bomba que envía el aceite a un filtro que limpia de impurezas el lubricante y de ahí pasa a una galería principal donde se distribuye a las zonas que lo necesitan.
– Una bomba, accionada mecánicamente por el cigüeñal del motor, que se encarga de suministrar lubricante a todo el sistema de engrase con una presión y caudal adecuada a las necesidades de lubricación del motor. Para ello, lleva una válvula de sobrepresión que si se supera la presión máxima de tarado abre un retorno al cárter, evitando así presiones excesivas.
– Una galería principal de engrase. De ahí se distribuye primeramente a los casquillos de bancada y de ahí a los de biela; también de ella salen unos inyectores que proyectan aceite a presión a la parte baja de los pistones y este aceite escurre por los cilindros. De esta tubería sube una canalización hacia los apoyos del árbol de levas, el eje de balancines y los taqués hidráulicos. Todo este aceite retorna al cárter.
– El filtro. Generalmente es un cartucho de papel, presenta un *by-pass* de sobrepresión para evitar, si se presenta una obstrucción por colmatación de este, que llegue el aceite al motor y que se produzcan daños. De esta forma, se puentea el filtro obstruido y se garantiza la lubricación del motor.

## 4.3 > Circuito de refrigeración

En el motor se producen combustiones en los cilindros que pueden alcanzar 2 000 °C de temperatura en instantes puntuales. Parte de este calor se utiliza en el tiempo de expansión para empujar el pistón y aportar trabajo, pero el resto del calor se debe evacuar en el escape y el circuito de refrigeración para impedir dilataciones, fricciones elevadas, deformaciones e incluso fusiones de materiales. El circuito de refrigeración consigue que

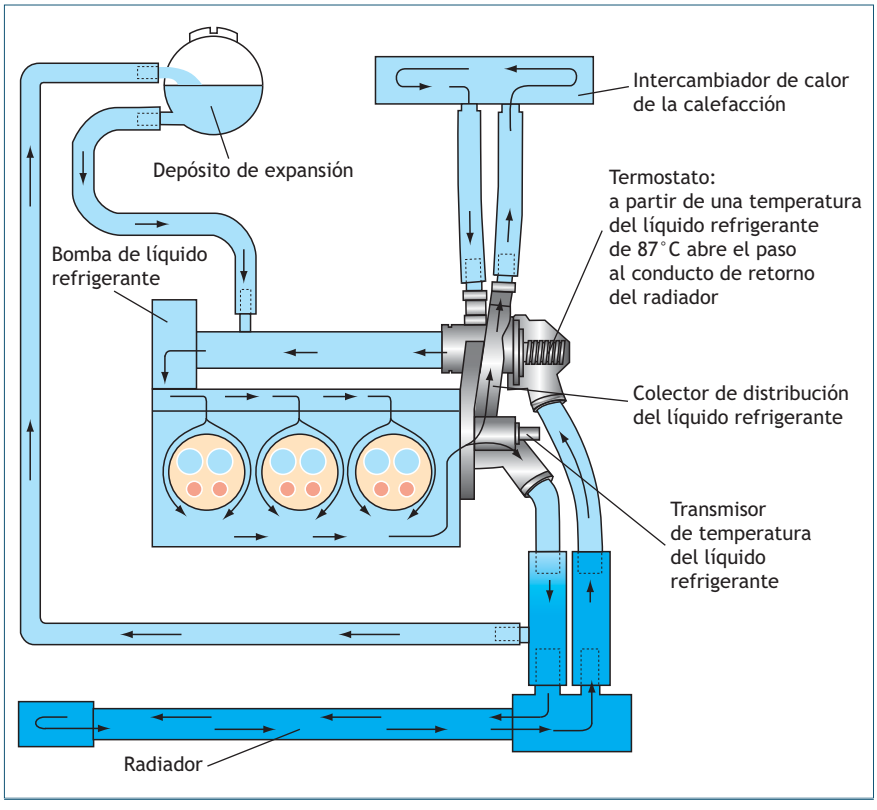
el motor trabaje con temperaturas reguladas entre 90 y 100°C para que tenga buen rendimiento y bajos desgastes.

Existen dos tipos de refrigeración:

– **Refrigeración por aire.** El calor se disipa a través de una aletas. El motor es más difícil de mantener a una temperatura estable y suelen trabajar a mayor temperatura, a unos 120°C. Se usa en motores de dos tiempos y motores pequeños.
– **Refrigeración por líquido** (figura 2.24). La disipación del calor del motor se hace primero a un líquido refrigerante y de este a la atmósfera a través de un radiador, que también tiene muchas aletas para aumentar la superficie de contacto. Mantiene fácilmente una temperatura estable entre 90 y 100°C.

  Un circuito de refrigeración por líquido consta de:

  - Un radiador que refrigera con el aire ambiente el refrigerante que previamente ha absorbido el calor del motor.
  - Un termostato que si el motor está frío no permite que el refrigerante circule por el radiador para que se caliente lo antes posible; en caliente sí lo permite.
  - Una bomba de accionamiento mecánico que en todo momento impulsa el refrigerante por el circuito.
  - Un ventilador, controlado por un termocontacto para forzar la disipación del calor a la atmósfera si fuera necesario.
  - Radiador de la calefacción para calentar el habitáculo.




**2.24.** Circuito de refrigeración.

## Actividades finales

1·· ¿En qué transforma un motor la energía química suministrada con la mezcla de combustible?

2·· Cita los tres conjuntos de elementos más importantes de un motor.

3·· ¿Cuáles son los dos materiales más empleados en la fabricación de motores?

4·· Enumera las partes más importantes de un pistón.

5·· ¿En qué ha evolucionado más un motor mecánicamente?

6·· Enumera los elementos estructurales o fijos del motor.

7·· ¿Qué dos ventajas más importantes tiene la aleación de aluminio frente a la fundición de hierro?

8·· ¿Qué segmento de compresión es el segmento de fuego?

9·· Cita los elementos del tren alternativo.

10·· ¿Cuáles son los inconvenientes de la refrigeración por aire?

11·· ¿Para qué sirve la válvula *by-pass* de un filtro de aceite?

12·· Enumera los mecanismos y circuitos auxiliares de un motor.

13·· ¿Dónde va el aceite a presión de la galería principal de engrase?

14·· ¿Cómo se consigue reducir el rozamiento entre piezas metálicas?

15·· ¿Cuál es el número máximo de válvulas que conoces en un cilindro de un motor de cuatro tiempos, incluidas las de admisión y las de escape? ¿Y el mínimo?

16·· Nombra los tres tipos de accionamiento que existen en las distribuciones actuales.

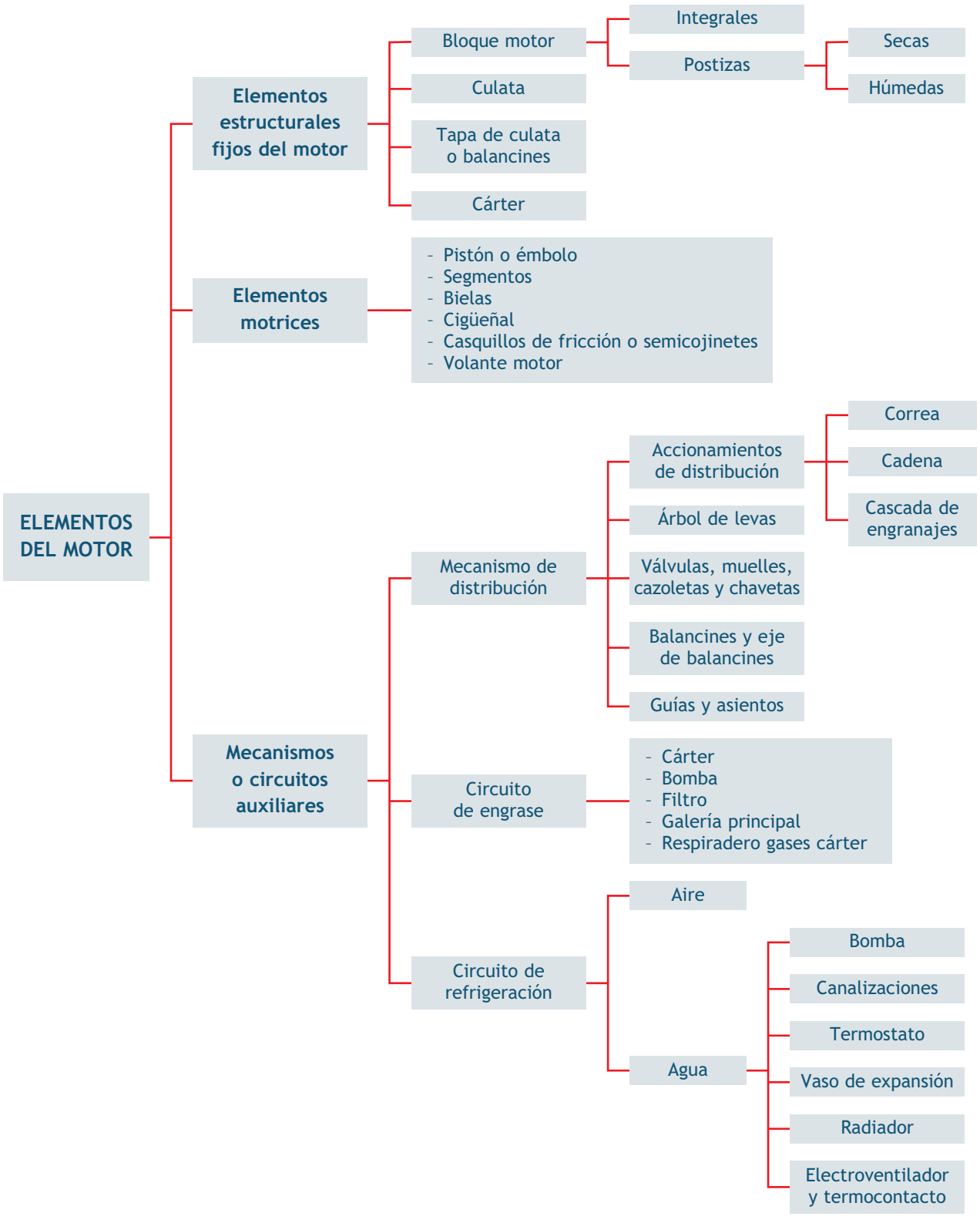
17·· ¿Cómo se consigue engrasar las muñequillas de biela?

18·· Nombra los componentes de un sistema de refrigeración.

19·· ¿Cuáles son los tres tipos de camisas que puede tener un bloque?

20·· ¿Qué pieza se encarga de hacer la estanqueidad entre la culata y el bloque motor?

## Ideas clave


ELEMENTOS DEL MOTOR
Elementos estructurales fijos del motor
Bloque motor
Integrales
Postizas
Secas
Húmedas
Culata
Tapa de culata o balancines
Cárter
Elementos motrices
- Pistón o émbolo
- Segmentos
- Bielas
- Cigüeñal
- Casquillos de fricción o semicojinetes
- Volante motor
Mecanismos o circuitos auxiliares
Mecanismo de distribución
Accionamientos de distribución
Correa
Cadena
Cascada de engranajes
Árbol de levas
Válvulas, muelles, cazoletas y chavetas
Balancines y eje de balancines
Guías y asientos
Circuito de engrase
- Cárter
- Bomba
- Filtro
- Galería principal
- Respiradero gases cárter
Circuito de refrigeración
Aire
Agua
Bomba
Canalizaciones
Termostato
Vaso de expansión
Radiador
Electroventilador y termocontacto

# AVANCES TECNOLÓGICOS DE LOS MOTORES

Aparentemente en motores térmicos alternativos hay pocas diferencias entre un motor antiguo y uno moderno pero en realidad hay más que sutiles diferencias. Los estudios que se hacen, tanto para el diseño como para la fabricación y los materiales empleados, hacen que los motores actuales sean tecnológicamente muy avanzados.

La tendencia actual es fabricar motores con mayor potencia que antiguamente y esto además se hace con cilindradas relativamente bajas para reducir consumos y contaminación.

En los bloques de motor se ha pasado de la fabricación de la fundición de hierro a las aleaciones de aluminio para reducir peso y disipar mejor las mayores temperaturas que se producen en los motores actuales. Incluso en algunos motores modernos las camisas son integrales, también hechas en fundición de aluminio con un baño interior para endurecer y aumentar la resistencia al desgaste de los cilindros.

Respecto a las culatas hace ya bastante tiempo que en turismos todas se fabrican en fundición de aluminio por los mismos motivos que los bloques. Casi todas las culatas actuales son de cuatro válvulas por cilindro para mejorar el llenado y aumentar el par y la potencia del motor. Los colectores de admisión se hacen cónicos, más grandes en la entrada y más pequeños en la salida, junto a la válvula de admisión. Además se hacen con forma espiral para mejorar también el llenado y la turbulencia dentro de la cámara, para favorecer la homogeneización de la mezcla, reduciendo consumos y contaminación. Con estas mismas finalidades se estudian las cámaras de combustión concienzudamente.

En las distribuciones de motores de turismo se han eliminado por completo las de accionamiento por engranajes, por absorber más potencia del motor y ser más ruidosas. Las más implantadas son las de correa de distribución, que son las que menos potencia absorben del motor y las más silenciosas, aunque también se montan accionamientos por cadena. Además se ha pasado de intervalos de sustitución de correa cada 40 000 km, o tres años, a 160 000 km o siete años

Los árboles de levas se están fabricando en la actualidad en tubo hueco con las levas postizas engatilladas, reduciendo notablemente el peso frente a los de fundición.

Los reglajes de válvula por tornillo se han eliminado prácticamente, quedando en la actualidad reglajes por pastillas o taqués de espesores y cada vez más taqués o compensadores hidráulicos que realizan el ajuste automáticamente, habiendo quitado los reglajes periódicos.

En la actualidad en los semibalancines ya no roza directamente el árbol de levas, sino que se interpone un rodamiento, existiendo entre las levas y el rodamiento una rodadura en vez de rozamiento, esto sirve para que se absorba menos potencia del motor, reduciendo consumos, y para que sufran menos desgaste las levas y los balancines.

Las bielas se hacen cada vez más robustas para soportar los grandes esfuerzos que sufren los motores actuales, aunque se alean para que sean algo más ligeras. Se fabrica su pie de forma cónica para aumentar la superficie donde se aplica la fuerza de la combustión en el pie y en el alojamiento del bulón en el pistón.

Los pistones son cada vez más ligeros y robustos, se recorta mucho la falda, sobre todo transversalmente al bulón, con dilataciones más controladas. La segmentadura también se diseña para evitar fugas hacia el cárter procedente de las cada vez más fuertes combustiones. Las tolerancias entre pistón y cilindro son cada día menores.

Todos los elementos móviles son equilibrados con bastante precisión para reducir inercias, lo que permite aumentar las revoluciones del motor y su potencia, y vibraciones indeseables y dañinas. En algunos motores se recurre a ejes de equilibrado o contrarrotantes que crean un desequilibrio de igual magnitud pero de sentido contrario para que se contrarresten y se eliminen las vibraciones.

El volante motor ha pasado últimamente a ser de dos piezas, volantes bimasa, que llevan unos muelles entre estas para absorber vibraciones del motor hacia la transmisión para aumentar el confort de marcha.

Las altas potencias obtenidas en el motor hacen necesario mejorar enormemente la refrigeración y la lubricación.

La refrigeración tiene en la actualidad un control totalmente electrónico que asegura una temperatura segura y estable durante el funcionamiento del motor. Los anticongelantes-refrigerantes usados son orgánicos y alargan los mantenimientos hasta los 120 000 km.

Los lubricantes usados actualmente son de altísima calidad, permiten subir las revoluciones del motor para aumentar su potencia, alargar los intervalos de mantenimiento y reducir los consumos y la contaminación. Los intervalos de mantenimiento se han alargado en algunos motores hasta los 50 000 km.

Todos los avances modernos van encaminados a aumentar par y potencia del motor, para elevar sus prestaciones; reducir consumos y contaminaciones, y reducir sonoridad y vibraciones, para aumentar el confort de marcha.

unidad 3

# Extracción del motor. Herramientas y medidas de seguridad

## SUMARIO

- Normas de desmontaje del motor
- Identificación de los elementos anexos
- Disposición de los motores en el vehículo
- Medidas de seguridad

## OBJETIVOS

- Aprender métodos para intervenir en el vehículo.
- Estudiar los sistemas que unen el motor con el resto del vehículo.
- Conocer el conjunto de la mecánica del motor y el vehículo.
- Conocer las herramientas utilizadas en el taller.
- Valorar la importancia de la documentación técnica del vehículo.
- Identificar las disposiciones de los motores en el vehículo.
- Aplicar las medidas de seguridad y medioambientales.

## 1 >> Normas generales para la extracción del motor

Esta unidad didáctica es una introducción a la mecánica del automóvil. Es un campo muy amplio, ya que los trabajadores del sector de la automoción tienen que realizar diferentes operaciones, tanto de mecánica como de electricidad, montando y desmontando accesorios.

Para cada vehículo es aconsejable el uso y manejo del manual de taller, siguiendo las normas y pasos que el fabricante del mismo recomienda, tomando siempre las siguientes medidas generales:

- A la recepción del vehículo, cubrir con fundas algunas partes de su interior: asientos, volante, palanca de cambios y esterillas de apoyo de los pies. Cuando se proceda a hacer alguna intervención en un vehículo, se debe proteger el mismo con fundas en todas las zonas que puedan ser dañadas.
- Es necesario hacer un diagnóstico previo completo de la avería para decidir si es necesaria la extracción del motor, o si la reparación se puede realizar sin extraerlo.
- Si el vehículo tiene el motor en la parte delantera y es necesaria la extracción del mismo, se deben proteger las aletas delanteras con cubrealetas.
- Las explicaciones del cliente son de gran ayuda para diagnosticar la avería del vehículo.
- Es necesario localizar la documentación técnica o manual de taller del vehículo.
- Para llevar a cabo la intervención en el vehículo es necesario proveerse de todas las herramientas comunes y específicas necesarias.
- Es aconsejable el desmontaje del capó en la mayoría de vehículos, evitando daños de carrocería que pudieran ser ocasionados y facilitando así la tarea de acceso al hueco motor.
- Hay que proceder al desmontaje de los elementos accesorios siguiendo el orden establecido en el manual de taller.
- Los elementos desmontados deben ser colocados en carros y bandejas destinados a tal fin, ordenados según el proceso de desmontaje.
- El proceso de montaje será justamente el inverso al que se ha realizado el desmontaje.

Una vez finalizada la reparación, se debe comprobar siempre el correcto funcionamiento de los elementos reparados del motor y del vehículo en general, teniendo en cuenta que puede haber sido afectado algún sistema del mismo en el proceso de intervención. El vehículo debe quedar en perfecto estado de funcionamiento.

Una vez realizada la reparación, se debe realizar una memoria explicando las intervenciones, los cambios de piezas que se han llevado a cabo y las herramientas utilizadas.

### Conocimientos previos

Al levantar el capó de cualquier vehículo queda a la vista el cofre del motor, con el entramado de cables y manguitos que a él se unen, no debiendo ser obstáculo para la extracción del mismo. Esta extracción se llevará a cabo siguiendo los pasos que el fabricante indica en el manual de taller. En

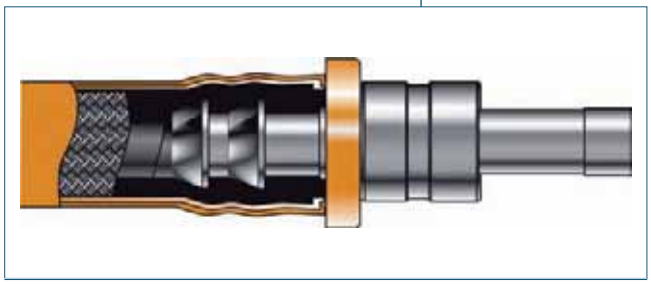
**3.1.** Funda cubrealetas.

### Vocabulario

**Manual de taller:** libro o documento donde figura toda la información necesaria para la reparación de un vehículo: normas, procesos, esquemas, despieces, figuras, pares de apriete, valores de comprobación, etc. Está destinado a ser consultado por el mecánico.

**3.2.** Aspecto del motor en su ubicación.

**3.3.** Tapa que cubre todo el motor.



**3.4.** Conexión hidráulica o neumática entre conector flexible y rígido.

muchos vehículos actuales, y en marcas más prestigiosas, solo se aprecia una tapa que cubre todo el motor. Retirando esta tapa se accede a los mismos elementos que en los demás vehículos.

Los vehículos llevan todos los mismos sistemas de unión, aunque algunos tienen más accesorios que otros, por lo que presentan más dificultades en su extracción.

Los principales elementos de unión del motor con sus sistemas auxiliares son:

– **Uniones mecánicas atornilladas:**
  - El colector de escape y el tubo de escape.
  - El turbo y el escape en los motores que llevan turbo.
  - El motor y la caja de cambios.
  - El motor y la caja de cambios a los soportes de motor de la cuna y el bastidor.
  - Transmisiones o árbol de transmisión: de la caja de cambios a los bujes o puente trasero.

– **Uniones de conductos y tuberías hidráulicas:**
  - Manguitos de refrigeración: entre motor y radiador.
  - Conductos de calefacción: entre el motor y el radiador del habitáculo.
  - Conductos de admisión del aire, del filtro de aire a los colectores.
  - Del filtro de aire al turbo en caso de llevarlo, del turbo al radiador *intercooler* y de este al colector de admisión.
  - Tuberías de llegada de combustible y retorno: del depósito al sistema de inyección en el motor.
  - Conductos de gas del aire acondicionado, entre el compresor acoplado al motor y el condensador situado en la parte delantera del vehículo y entre el compresor y el evaporador ubicado detrás del salpicadero.
  - Conductos del aceite hidráulico de la dirección asistida: entre la bomba montada sobre el motor y la cremallera de la dirección asistida unida al bastidor.

### Válvula EGR (Recirculación de gases de escape)

Es una válvula mecánica con una membrana que hace de puente o *by-pass* entre los gases de escape y los de admisión. Su función es reducir la contaminación de los $NO_x$. Se activa mediante una electroválvula gobernada por la UCE. No se debe confundir la electroválvula con la válvula EGR propiamente dicha.

**3.5.** Conducciones y manguitos unidos al motor.

- Conducto hidráulico de accionamiento del embrague: entre la bomba de embrague y el bombín ubicado en la carcasa de la caja de cambios.
- Conductos de vacío entre la bomba y las electroválvulas de gestión del turbo y válvula EGR.

– **Conexiones eléctricas:**
- Conexiones de gestión de motor con la centralita (UCE): elementos de información y actuadores, para la inyección y el encendido.
- Conexiones de control de funcionamiento del motor: temperatura, presión y nivel de aceite, nivel del líquido refrigerante, revoluciones del motor, velocímetro y cuentakilómetros.
- Conexiones de los circuitos de arranque y carga.
- Cable de masa del motor y la carrocería.
- Conexión de corriente para las bujías de precalentamiento en los motores diésel.

– **Otras uniones que unen el conjunto motor con el chasis:**
- Varillaje o mandos de selección de las velocidades.
- Mando del acelerador; cable metálico o eléctrico.
- Mando de accionamiento del embrague por cable.

El motor en su ubicación puede presentar diferentes disposiciones, la más habitual es el motor y la caja de cambios transversales delanteros.

**Práctica 1**

**Práctica 2**

1 Cable positivo de batería
2 Filtro de aire
3 Conducto de admisión desde el *intercooler*
4 Conducto de refrigeración
5 Bomba de líquido de dirección asistida
6 Conducto de gas del aire acondicionado
7 Conductos de combustible
8 Conducto de refrigeración centralita motor
9 Conductos de vacío
10 Cables de gestión del motor

**3.6.** Elementos anexos al motor.

## Actividades propuestas

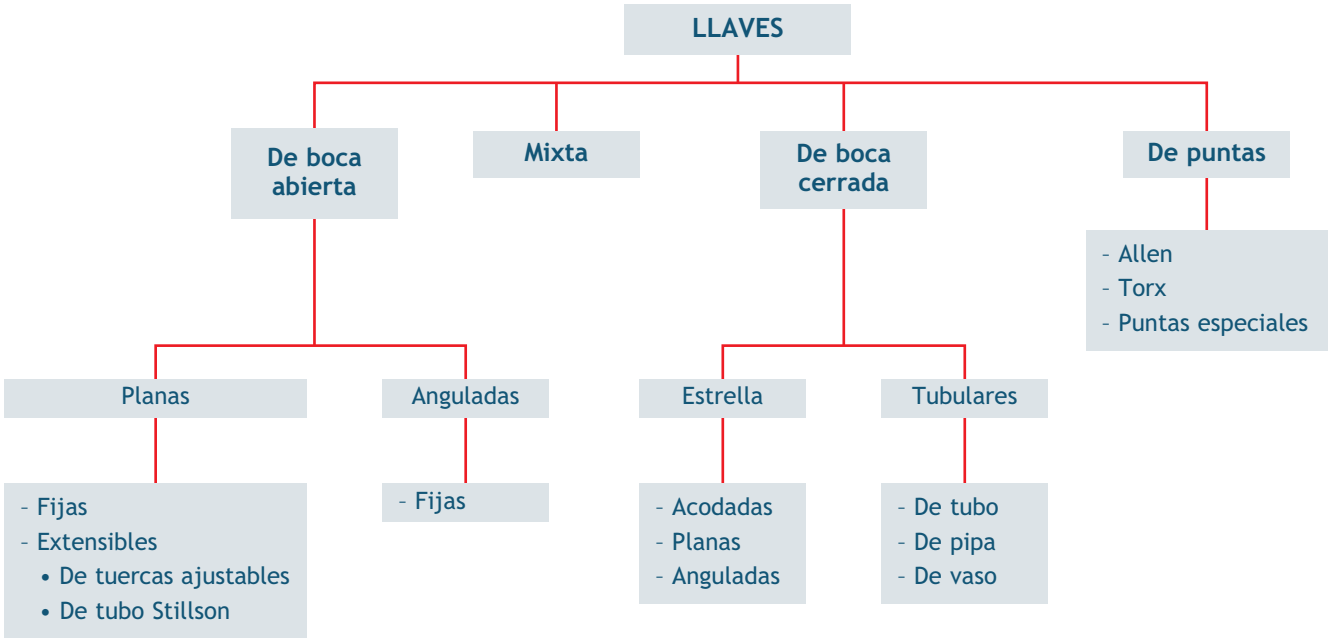
1·· Observa el motor de un vehículo del taller y realiza una lista de elementos auxiliares unidos al mismo, anotando el sistema de unión y las herramientas que se utilizarían para su desmontaje.

## 2 >> Herramientas utilizadas para la extracción del motor

Para realizar correctamente los trabajos de desmontaje, montaje y reparación del motor y del automóvil en general, así como para evitar lesiones personales y materiales, es muy importante conocer las herramientas propias para cada trabajo, así como su manejo. Existen herramientas o útiles específicos para realizar determinadas operaciones. Las herramientas más comunes son las llaves, los alicates, los destornilladores y los martillos.

### 2.1 > Las llaves del mecánico

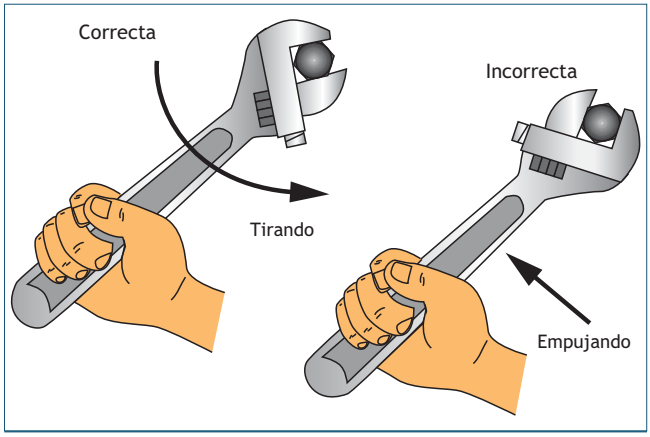
**Las llaves son herramientas manuales de acero que se emplean constantemente en el taller para apretar y aflojar tornillos y tuercas.**



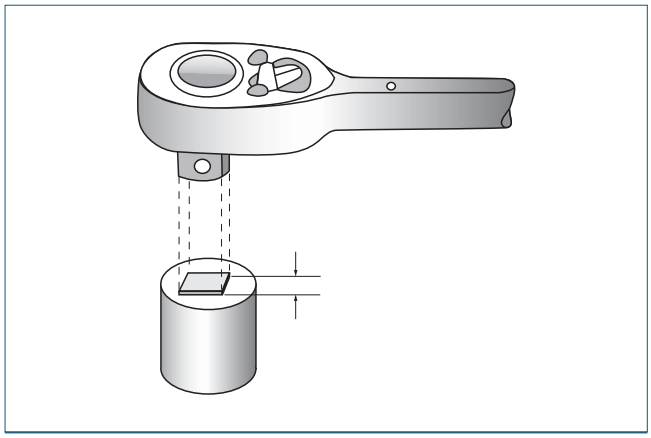
**3.7.** Carro de organización de piezas.

De forma muy general, las normas de uso de las llaves son las siguientes:

- La llave usada para la reparación debe ser la apropiada para el tamaño del tornillo.
- Para aflojar o apretar se debe tirar de la llave según el sentido de giro, nunca empujar (figura 3.8).
- Utilizar la llave ajustable, o inglesa, lo mínimo posible.
- No utilizar la llave de carraca para aflojar el máximo apriete. Esta llave se utiliza una vez que el tornillo está flojo.
- No utilizar nunca la llave dinamométrica para aflojar.
- Utilizar siempre que sea posible las llaves de varias caras: de estrella, de tubo o de vaso.
- Si se utilizan llaves de tubo, utilizar para girar estas la llave plana que corresponda al mismo número para que se adapte correctamente.
- No golpear con las llaves ninguna pieza.




**3.8.** Norma de uso de las llaves.



**3.9.** Acoplamiento de llave de carraca.

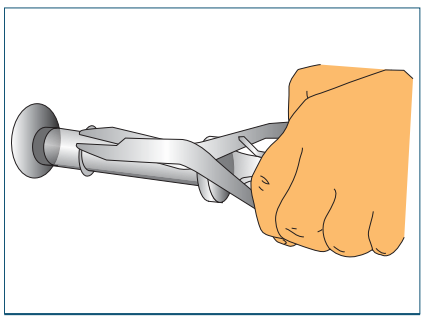
## 2.2 > Los alicates

**Los alicates son herramientas manuales que sirven para sujetar, cortar, doblar, montar y desmontar determinadas piezas.**

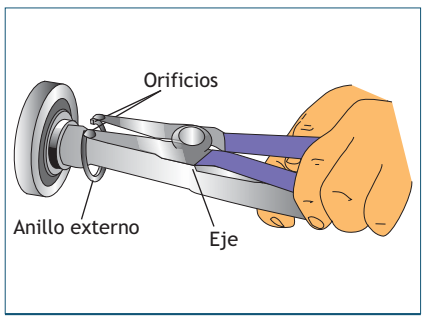
La clasificación de los alicates es la siguiente:

- **Alicates universales.** Se emplean para sujetar y extraer pequeñas piezas. También son utilizados para cortar pequeños diámetros de diferentes materiales.
- **Alicates de puntas alargadas, planas o redondas.** Se emplean para la sujeción y montaje de pequeñas piezas donde se requiere cierta precisión.
- **Alicates de puntas semiredondas, rectas o curvadas.** Sirven para extraer piezas situadas en zonas de reducida accesibilidad.
- **Alicates de corte.** Se emplean para cortar diferentes materiales.
- **Alicates de usos especiales.** Se utilizan para determinados montajes, como por ejemplo para extraer las abrazaderas de los manguitos.
- **Alicates de puntas para muelles o anillos de seguridad *seeger*.** Se utilizan para la extracción o el montaje de anillos. Existen varios tipos, de acuerdo con las distintas clases de anillos de retención disponibles en el mercado. Cuando sostienen un cojinete en un eje, los anillos de retención son de carácter externo. Asimismo, son internos cuando sujetan un cojinete alojado en una carcasa o pista.

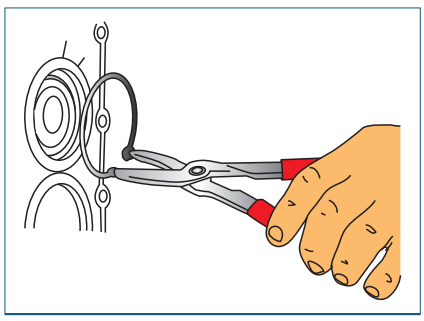
Utilización de los alicates para la colocación de anillos de retención o *seeger*.



**3.10.** Anillo exterior sin orificios.




**3.11.** Anillos exteriores.



**3.12.** Anillo interior.

## 2.3 › Los destornilladores

**Los destornilladores son herramientas constituidas por un mango y una varilla, cuyo extremo tiene la forma adecuada para encajar en las ranuras de las cabezas de los tornillos que se van a aflojar o apretar.**

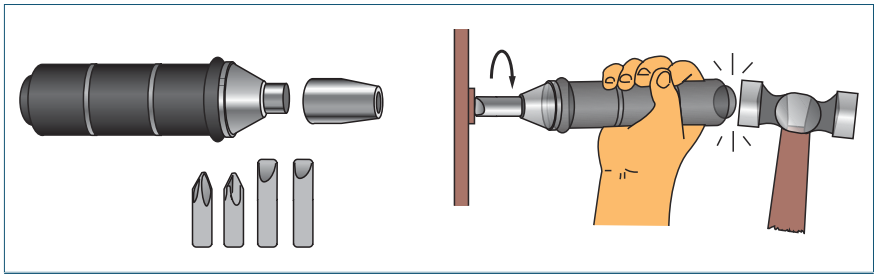
Una clasificación general de los destornilladores que se utilizan en el taller de electromecánica es la siguiente:

– Destornilladores para tornillos ranurados.
– Destornilladores para tornillos cruciformes *phillips.*
– Destornilladores para tornillos cruciformes *pozidriv.*
– Destornilladores para tornillos *torx.*
– Destornillador a golpe o destorgolpe.

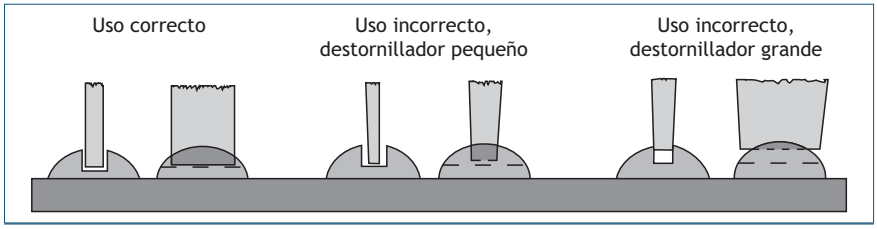
**3.13.** Tipos de destornilladores.

Algunas normas generales de uso y seguridad de los destornilladores son las siguientes:

– No utilizar nunca el destornillador como palanca.
– No golpear el mango con el martillo.
– El mango debe de estar limpio para que no resbale.
– Utilizar siempre el destornillador adecuado para cada tipo de tornillo.



**3.14.** Constitución y manejo del destorgolpe.




**3.15.** Uso correcto e incorrecto de destornilladores.

– No sujetar la pieza con la mano al atornillar, ya que se puede escapar el destornillador y herir la mano.
– No llevar el destornillador en el bolsillo, pues se puede clavar.
– Siempre utilizar destornilladores con mango aislante.

## 2.4 > Herramientas para golpear

Las herramientas para golpear se emplean generalmente para extraer o acoplar determinados elementos que, por su ubicación, precisan de una cierta presión de ajuste. También se utilizan para marcar la posición de las piezas y servir de referencia para el montaje posterior.

Su aplicación puede ser directa o indirecta, debiendo ser limitado su empleo. Las principales herramientas para golpear en el taller son:

– **Martillos.** Son herramientas para golpear directamente. Su forma y tamaño son variados, debiendo adaptarse al trabajo que se vaya a realizar. Los más utilizados son el martillo de bola y el martillo de peña.
– **Mazas.** Son martillos hechos con un material y unas formas determinadas, que se utilizan para algunas tareas delicadas, evitando que sufran daños las piezas golpeadas. Las más utilizadas son las de goma, las de naylon y las de cobre.
– **Botadores.** Son herramientas utilizadas para golpear de manera indirecta, transmitiendo el golpe producido por el martillo. Son fabricados en acero, y los hay con puntas de diferentes longitudes y diámetros. Existen botadores cónicos y cilíndricos, y los llamados granetes, utilizados para extraer pasadores de seguridad y marcado de piezas respectivamente.

**3.16.** Juego de martillos.

**3.17.** Juego de botadores y granetes.

Las normas generales de uso y seguridad para este tipo de herramientas son las siguientes:

- Para la correcta selección del tamaño y tipo de martillo, se debe estudiar la naturaleza del trabajo a realizar, teniendo en cuenta la resistencia y sujeción del mango, y la cabeza del martillo en función de su grosor y de su peso.
- En labores de golpeo con el martillo, el mango del mismo debe agarrarse por el extremo, lejos de la cabeza, para asegurar la eficacia de los golpes y evitar la exposición de la mano libre.
- En ningún caso se emplearán los martillos como palancas o llaves, ni se recurrirá al pomo del mango para golpear, con el fin de evitar el deterioro de la herramienta.
- En el uso de la maza deberá asegurarse la inexistencia de obstáculos en el radio de golpeo. Asimismo, será necesario hacer uso de gafas de protección ocular debido a la proyección de partículas provocadas por la fuerza de uso requerida.
- Evitar la exposición de las manos durante la sujeción de un puntero haciendo uso de un alicate, y proteger los ojos con gafas de seguridad.

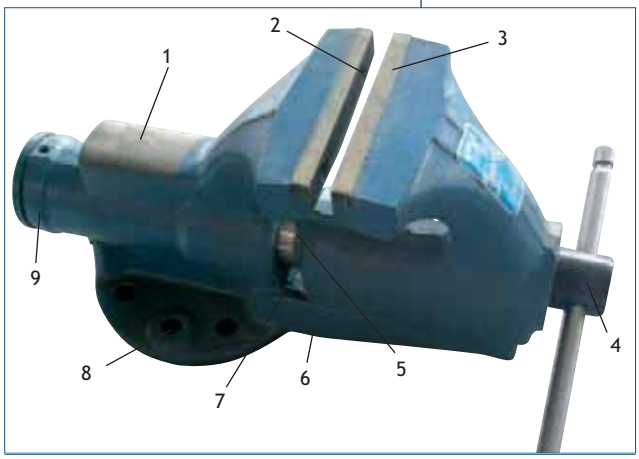
## 2.5 > Herramientas especiales para la extracción y montaje del motor

### Tornillo de banco

**El tornillo de banco es una herramienta que sirve para sujetar piezas que se van a acoplar, desmontar o reparar antes del montaje definitivo en el motor.**

Las normas principales de uso y conservación para el tornillo de banco son las siguientes:

- Mantenerlo limpio.
- No golpear la barra de accionamiento.
- No dejar las mordazas apretadas sin uso.
- Sujetar siempre en el centro de las mordazas.
- Engrasarlo con frecuencia.
- No dañar las mordazas.
- No someterlo a golpes violentos.
- Golpear en la zona destinada para ello.




**3.18.** Tornillo de banco paralelo y sus partes.

1. Zona de golpeo
2. Tornillos de sujeción de las mordazas
3. Mordazas
4. Giro de husillo
5. Husillo
6. Cuello
7. Cuerpo de husillo
8. Base
9. Punto de engrase

### Llave dinamométrica

**La llave dinamométrica es una herramienta manual que sirve para apretar los tornillos a un par determinado, disponiendo de un sistema especial que marca el esfuerzo que realizamos al apretar un tornillo o una tuerca.**

La llave dinamométrica es en realidad una llave de carraca, a la que se acopla un brazo que incorpora un mecanismo en el que se regula el par de apriete de forma que, si se intenta apretar más de lo debido, salta un mecanismo que avisa para que no se siga apretando.

La **llave dinamométrica** es una herramienta imprescindible del mecánico, principalmente por dos motivos:

– Hay tornillos que si están poco apretados se van a aflojar causando una avería en el mecanismo que los incorpora, y si van muy apretados se pueden estirar o romper por exceso de tensión.
– Para los casos de apriete de precisión se utilizan las llaves dinamométricas. El 99% de los tornillos que forman parte de la mecánica del vehículo necesitan un apretado de precisión.

**3.19.** Llave dinamométrica de disparo y de dial.

**3.20.** Manejo de la llave dinamométrica.

Las normas principales de uso y manejo para este tipo de herramientas son las siguientes:

– Deben manipularse adecuadamente durante su uso, sin darles golpes y cuidando de no doblarlas.
– Al finalizar el trabajo, la herramienta deberá ser cuidadosamente recogida, dejando sin tensión el mecanismo de disparo.
– No utilizar una llave dinamométrica para aflojar tornillos.
– Nunca se debe reapretar a mano un tornillo que antes haya sido apretado al par adecuado.
– Someterla a revisión y reajuste periódicamente.
– Las pistolas neumáticas de apriete no son llaves dinamométricas aunque lo parezcan, pues sufren desajustes con facilidad.

### Extractores

**Los extractores son herramientas que sirven para extraer piezas acopladas a presión, como rótulas, rodamientos, poleas, casquillos, bujes, etc. Los hay de diferentes formas y tamaños, de acuerdo a las necesidades.**

Los extractores pueden ser manuales o hidráulicos.

Los **extractores manuales** son garras que se enganchan a la pieza que se va a extraer: cojinetes, rodamientos, etc. y un tornillo central que rosca sobre un yugo que une ambas garras, apoyando y ejerciendo presión a su vez sobre el eje. Si se aprieta el tornillo de forma progresiva, las garras se desplazan hacia fuera arrastrando, a su vez, el cojinete enganchado.

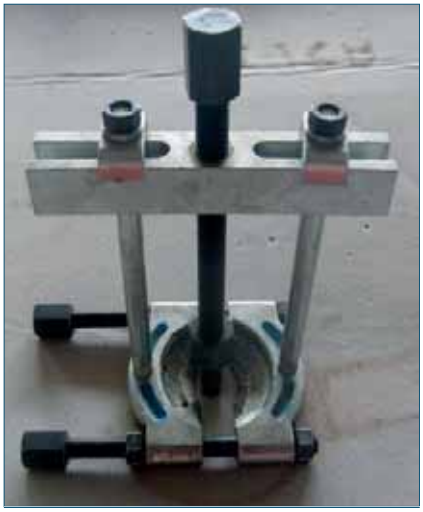
Por otra parte, algunos extractores de barra tienen mandíbulas y otros utilizan tornillos o anillos metálicos. Los extractores de mandíbula suelen tener

### Otras herramientas

Existen otras herramientas específicas utilizadas en la reparación del motor. Algunas de estas herramientas son:

- Compresor de segmentos o zuncho.
- Desmontadores de válvulas.
- Alicate extractor de segmentos.
- Llaves especiales para desmontar un componente específico.
- Llaves o extractores de filtros de aceite.
- Equipos de comprobación.
- Equipos de reparación.

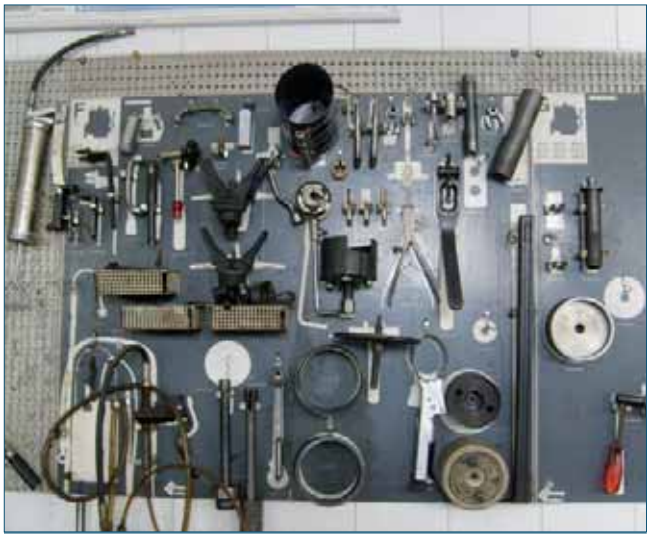
**3.21.** Extractor de rótulas.



**3.22.** Extractor de cojinetes.

un tornillo de presión ajustable que sujeta las mandíbulas contra la pieza para realizar una extracción más fiable. El extremo del tornillo de presión tiene una punta endurecida reemplazable.

**3.23.** Herramientas especiales de reparación de motores.



**3.24.** Útiles y herramientas para desmontar y montar componentes del motor.

## Actividades propuestas

2·· En el taller del centro encontrarás muchas herramientas organizadas en carros, armarios, cajas de herramientas, etc. Haz una relación de las mismas, citando el nombre, su clasificación y el orden de almacenamiento establecido. Investiga su uso.

3·· En tu taller encontrarás una serie de herramientas, útiles y equipos especiales utilizados para la reparación y el mantenimiento de motores. Localiza diez de ellos, nómbralos y explica su utilidad y el modo correcto de uso.

## 3 >> Disposición del motor en el vehículo

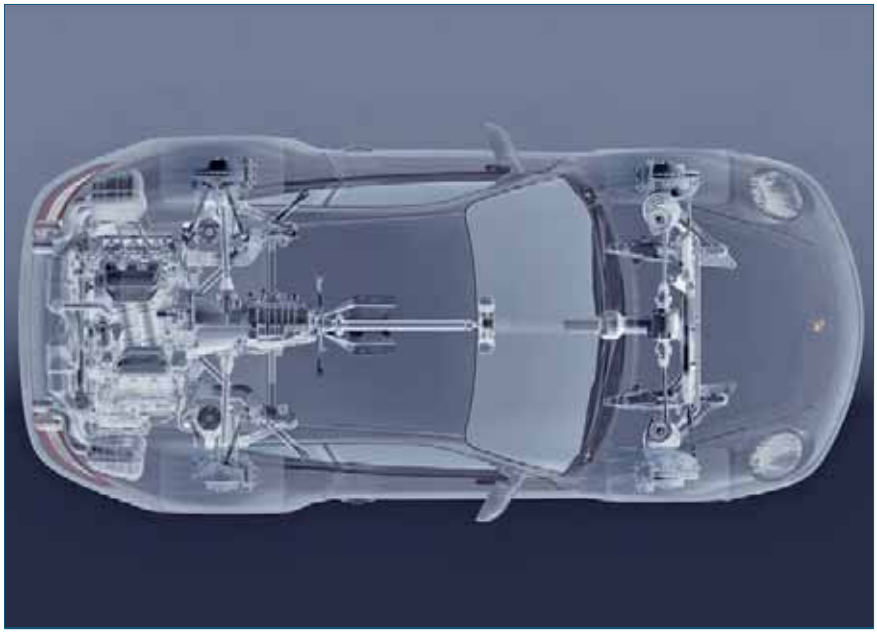
En los primeros vehículos, el motor iba colocado en la parte delantera, y la propulsión en el eje trasero. Esta es la arquitectura más lógica desde el punto de vista de la mecánica y, con ella, a su vez, se consigue el reparto de pesos más adecuado.

Actualmente, los constructores e ingenieros mecánicos de todas las marcas de vehículos analizan cómo conseguir mejores prestaciones y estabilidad dependiendo de la posición del motor en el vehículo. Son analizados decenas de parámetros al construir un automóvil, principalmente para evitar subvirajes, sobrevirajes, cabeceos, etc. y obtener la máxima seguridad y confort, así como el mayor aprovechamiento y rendimiento de la potencia sin pérdidas por transmisión.

### 3.1 > Ubicación del motor

La posición del motor en el coche tiene gran importancia en factores como la estabilidad, la maniobrabilidad y la seguridad en la conducción.

La aplicación práctica del motor delantero y la propulsión trasera a través de un eje de transmisión, solidario desde la caja de cambios en la parte delantera y el grupo diferencial en la parte trasera, fue revolucionada por la aplicación de Porsche, colocando el motor y transmisión en el eje trasero. Esto supuso un gran reto tecnológico que aportó extraordinarios éxitos en el mundo de la competición. Sin embargo, esta disposición implica grandes riesgos en la estabilidad del vehículo. Después de más de cien años fabricando automóviles, los expertos han llegado a la conclusión de que el sistema más seguro es que la tracción y la dirección estén localizadas en el eje delantero como es lo habitual en la casi totalidad de los vehículos actuales.



**3.25.** Vehículo con motor trasero. Fuente: Porsche.

### Vocabulario

**Subvirar:** girar menos de lo necesario. Problema que presentan algunos vehículos debido al reparto de su peso y al sistema de dirección. El vehículo derrapa de la parte delantera.

**Sobrevirar:** girar más de lo necesario. Efecto que sufren algunos vehículos debido al reparto de peso y al sistema de transmisión. El vehículo derrapa de la parte trasera.

### Bloque motor inusual

Los motores en línea son estrechos y alargados, de forma que a partir de cinco cilindros se colocan siempre longitudinalmente. El Ford Contour es bastante peculiar, al tener un bloque de ocho cilindros en línea colocado transversalmente en la parte trasera.

### Récord de cilindros

El modelo con más cilindros que ha existido en la producción mundial es obra de un ingeniero de origen español. El coche deportivo tiene un motor de 16 cilindros, construido a partir de cuatro motores de moto. Al tener 5 válvulas por cilindro, ostenta otro récord de 80 válvulas.

## 3.2 > Clasificación de los vehículos por la ubicación del motor y la transmisión

**DISPOSICIÓN DEL MOTOR Y LA TRANSMISIÓN EN EL VEHÍCULO**

| Motor delantero | Motor central | Motor trasero |
|---|---|---|
| - Transversal y tracción delantera<br>- Longitudinal y tracción delantera<br>- Longitudinal y propulsión trasera<br>- Longitudinal y tracción integral | - Longitudinal y propulsión trasera<br>- Longitudinal y propulsión integral | - Longitudinal y propulsión trasera<br>- Longitudinal y propulsión total<br>- *Boxer* y propulsión trasera |

**3.26.** Vehículo con motor transversal y tracción delantera.

**3.27.** Vehículo con motor delantero longitudinal. Fuente: BMW.

### Vehículos con motor delantero transversal y tracción delantera

Con esta arquitectura se favorece el reparto de pesos del coche. Se consigue un vehículo más estable al circular en línea recta y al frenar.

Su principal defecto es que clava la parte delantera y subvira excesivamente en curvas cerradas y medias al entrar con exceso de velocidad.

Se ha impuesto para una conducción relajada y por la economía en la fabricación.

### Vehículos con motor delantero longitudinal y tracción delantera

En este montaje la caja de cambios puede ir por detrás o por delante del motor, lo que obliga en este caso a retrasar el motor. Un centro de gravedad atrasado obliga a ir más atentos a la conducción.

Cualquier irregularidad en el momento de la frenada desviará al vehículo de su trayectoria, obligando al conductor a corregirla continuamente.

### Vehículos con motor longitudinal y propulsión trasera

En estos vehículos, la posición del centro de gravedad es decisiva para la estabilidad del vehículo. Cuanto más adelantado esté el motor, al ser la propulsión trasera, menos le afectarán las fuerzas desestabilizadoras.

Tienen la ventaja, frente a los que llevan tanto el motor como la propulsión en la parte delantera, de ser más estables en línea recta y al frenar son menos subviradores.

Su principal inconveniente es que presentan un comportamiento sobrevirador en potencia (al acelerar fuerte), si se trata de un coche relativamente potente.

### Vehículos con motor longitudinal y tracción integral

La solución mixta, motor delante y propulsión en ambos ejes. Tiene la ventaja frente a los que llevan todo delante y los de motor delantero con pro-

pulsión, de reunir las propiedades de ambos. Son, en general, estables en línea recta y frenada, y menos subviradores en curvas al llevar un empuje trasero, contrarrestando el sobreviraje bajo potencia, al incorporar una tracción delantera.

### Vehículos con motor trasero longitudinal y propulsión trasera

La convulsión que supuso en todos los órdenes la Segunda Guerra Mundial, propició un planteamiento diferente de la economía en la industria a nivel industrial. Por una parte, la necesidad de disminuir los costes de producción, y por otra, la de hacer los coches más pequeños, animó a los fabricantes a emprender el cambio. Antes de la guerra, en Alemania, un genial diseñador llamado Ferdinand Porsche asumió el compromiso de diseñar un vehículo cuyo primer objetivo fuese un bajo coste de producción.

### Vehículos con motor trasero y propulsión total

Los vehículos con el motor y propulsión traseros, llamados los «todo atrás», tienen la ventaja de la compacidad de la mecánica, y el ahorro de espacio a favor de los ocupantes. En estos, podemos suprimir el espacio ocupado por el árbol de transmisión, y el volumen comprendido entre conductor y acompañante, por la envolvente del embrague y de la caja de cambios.

En contrapartida, su estabilidad frente a los «todo delante» es peor.

Actualmente, los motores traseros se emplean en vehículos de gran potencia donde se exige gran motricidad, solucionando los problemas de estabilidad y sobreviraje, generalmente son vehículos con propulsión 4 × 4.

### Vehículos con motor longitudinal central y propulsión

El motor está colocado en la zona central del vehículo entre los dos ejes, pero más próximo al eje trasero. Es el tipo de ubicación utilizada en los monoplazas, barquetas, coches rápidos de lujo, etc. Esta colocación permite al vehículo ir más deprisa al concentrar todo el peso cerca del centro de gravedad del mismo, mientras que la capacidad para equipajes no es precisamente un objetivo perseguido.

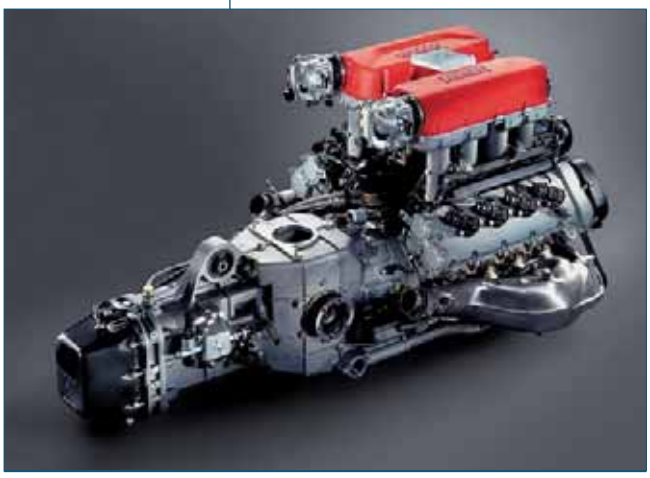
**3.28.** Vehículo con tracción integral.

## Vocabulario

**Tracción:** trabajo de tirar del vehículo para moverlo. Vehículos con la transmisión al eje delantero.

**Propulsión:** trabajo de empujar el vehículo para moverlo. Vehículos con la transmisión en el eje trasero.

**3.29.** Vehículo deportivo con motor central. Ferrari F 430.



**3.30.** Motor longitudinal para deportivo con motor central. Fuente: Ferrari.

## 4 >> Medidas de seguridad para la extracción del motor

La extracción del motor es una labor muy compleja que conlleva una serie de tareas con riesgos para los trabajadores del taller. Se deben adoptar las medidas de prevención de riesgos laborales y exigir el uso de los equipos de protección individual a todos los trabajadores.

La **Ley 31/1995** de Prevención de Riesgos Laborales establece un marco de actuación y unas directrices concretas para que las empresas realicen un sistema preventivo eficaz, documentado e integrado a sus procesos y a la actividad, garantizando así la integridad física y moral de los trabajadores. Para ello se deben respetar las normas y obligaciones establecidas en este campo.

### Planificación de las medidas y normas para eliminar los riesgos

- **Información de los riesgos laborales en el taller de electromecánica.** Los principales riesgos que pueden surgir son:
  - En la manipulación manual y mecánica de objetos y materiales.
  - En el manejo de herramientas y máquinas.
  - Por incendio, explosión y riesgo eléctrico en algunos casos.
  - En la extracción del motor.
  - En el entorno: resbalones, choques, tropiezos, golpes, caídas, etc.
- **Formación inicial y continuada de los trabajadores.** Todos los accidentes pueden evitarse si se introducen una serie de recomendaciones preventivas, consiguiendo la motivación de los trabajadores hacia la manipulación correcta de equipos y materiales, y concienciándolos de la importancia sobre la utilización de las protecciones colectivas e individuales.
- **Instrucciones para realizar las tareas de señalización, iluminación y limpieza.** Dar las indicaciones necesarias previas a la realización de las diferentes actuaciones: señalizar la zona, iluminarla suficientemente, despejar el entorno de objetos, limpiar el suelo de productos deslizantes, colocar las piezas que se vayan extrayendo de manera ordenada en carros adecuados, etc.
- **Equipos de protección individual y ropa adecuada.** En el taller hay que tener en cuenta los riesgos que se presentan en los diferentes trabajos y protegerse adecuadamente para evitarlos. Es conveniente proteger:
  - Los ojos.
  - Las manos.
  - Los pies.
  - El pelo largo.
  - Las vías respiratorias.
  - Estar preparado para los incendios y el manejo de materiales explosivos.

**Equipos de Protección Individual (EPI)**

Los EPI son cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

## Actividades propuestas

4·· Observa las instalaciones y las medidas de seguridad obligatorias en el taller de tu centro y otro del sector del ciclo formativo. Comenta en clase su buen estado o las posibles deficiencias de las mismas.

## Actividades finales

1·· Confecciona una relación de las normas a seguir antes de llevar a cabo la extracción del motor del vehículo. Justifica cada una de ellas.

2·· Enumera los sistemas de unión empleados en las conexiones entre el motor y sus sistemas auxiliares. Elabora una lista de elementos o sistemas unidos al motor que deben ser desconectados antes de la extracción del mismo.

3·· Explica de manera resumida la tarea que tienen asignada, en cuanto al funcionamiento del motor, los sistemas que has enumerado en la pregunta anterior.

4·· Observa el motor que se representa en la figura 3.31 y cita los elementos numerados. Detalla su ubicación.

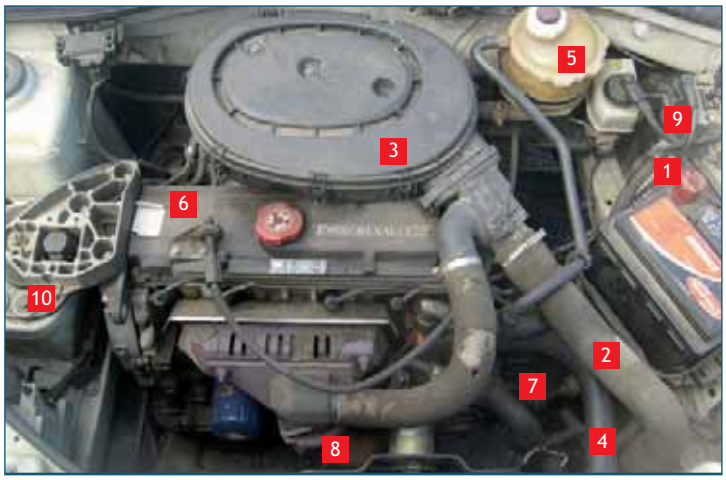
5·· Haz una relación de las herramientas más comunes utilizadas en el taller. Clasifícalas y justifica su uso e importancia.

6·· ¿Qué averías pueden obligar a la extracción del motor?

7·· Clasifica los vehículos en función de la ubicación del motor, y enumera las diferencias importantes, el motivo para utilizar uno u otro sistema y las ventajas de cada uno de ellos.

8·· Busca en Internet marcas de vehículos que utilicen diferentes disposiciones de motor y transmisión. Haz una comparativa en cuanto a la mecánica y las prestaciones.

9·· Completa en tu cuaderno la siguiente tabla con los riesgos laborales en el taller, las medidas a adoptar para prevenirlos y los equipos de protección individual (EPI) que se deben utilizar.




**3.31.** Identificación de elementos anexos en el motor.

| Operaciones | Partes del cuerpo expuestas al riesgo | Riesgos | EPI |
|---|---|---|---|
| Desmontaje y montaje de piezas | Manos | | |
| | Ojos | | |
| | Cuerpo | | |
| | Pies | | |
| Manipulación de líquidos o gases | Manos | | |
| | Ojos y oídos | | |
| | Vías respiratorias | | |
| | Cuerpo y cara | | |
| Limpieza de piezas | Manos | | |
| | Ojos y oídos | | |
| | Vías respiratorias | | |

## Caso final

### Sustitución del motor

•• Llega al taller un vehículo con una biela clavada en el bloque motor y decides extraer el motor para sustituirlo.

¿Qué orden de actuaciones debes seguir para llevar a cabo esta intervención?

**Solución** •• El orden de actuación que generalmente tendrás que seguir para abordar una reparación del tipo que se presenta en este caso es:

a) Documentarte.
b) Localizar e interpretar el VIN del vehículo.
c) Determinar las características del vehículo a reparar.

a) Tener localizada la información del vehículo y la documentación técnica necesaria.

**3.32.** Avería del motor que ha sido extraído del vehículo.

**3.33.** Motor nuevo dispuesto para ser montado.

b) Cualquier reparación en los sistemas del motor o del vehículo, así como las modificaciones que pudieran llevarse a cabo, deben ajustarse a los requerimientos que el fabricante del vehículo hace en el manual de taller de acuerdo al modelo, tipo de vehículo, código de motor y fecha de fabricación que figuran en la ficha técnica y que vienen impuestos por el **Número de Identificación del Vehículo, VIN o número de bastidor.**

**3.34.** Identificación del número de bastidor del vehículo.

De aquí la importancia que tiene identificar correctamente el **VIN,** que viene marcado en algunas partes del vehículo.

El VIN es un número de identificación del vehículo. Consta de 17 caracteres, compuesto de letras y números. El **VIN** está designado para identificar toda clase de vehículos automóviles que pueden circular por una vía pública: camiones, autobuses, tractores y maquinaria, turismos, motocicletas, etc. Fue definido por la normativa ISO 3779 en 1977 y revisado en 1983.

Todos los fabricantes de vehículos del mundo están obligados a utilizar este sistema de identificación. Gracias al **VIN** puedes identificar el vehículo, sus componentes y los procedimientos para la intervención en el mismo.

c) Determinar las características del vehículo que vas a reparar:

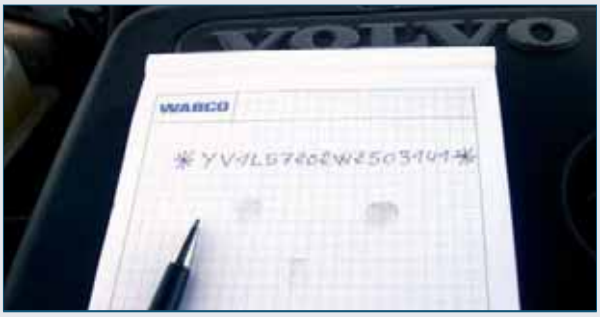
- Localiza la marca del vehículo (figura 3.35). Puedes encontrarla en una placa de la carrocería, en la parte delantera o trasera del vehículo.
- Localiza el modelo del vehículo (figura 3.36). Generalemente se encuentra en alguna placa. Puede ser un nombre, un número o la combinación de ambos.

**3.35.** Localiza la marca.

**3.36.** Localiza el modelo.

- Localiza y anota el VIN del vehículo (figura 3.37). Normalmente se encuentra en el tablero del salpicadero o en las torretas de la amortiguación. En muchos casos también es visible a través del parabrisas. Otras veces, el VIN no está visible y es necesario localizarlo.
- Una vez localizado el VIN anota cada letra y número exactamente como aparece marcado (figura 3.38).

**3.37.** Primero localizamos el VIN.

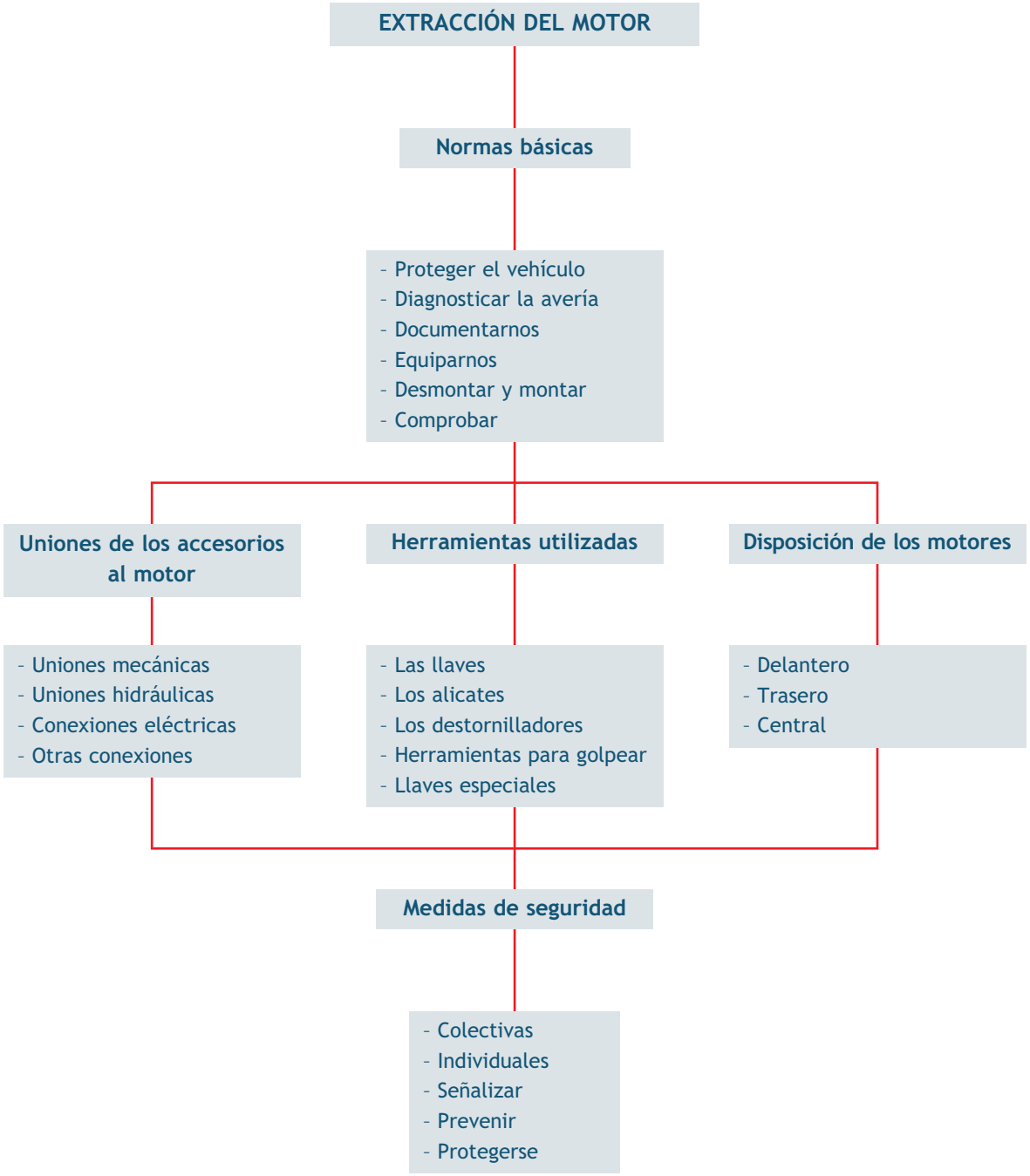



**3.38.** Anota los dígitos y letras en el orden de aparición.

- Descifra el VIN y anota los datos. Cada fabricante proporciona una tabla en los manuales de servicio para interpretar el VIN de sus vehículos. Esto se encuentra en las páginas de información del manual.
- Busca la página que contiene la tabla de interpretación del VIN.
- Una vez localizado el tipo de motor, debes seguir las indicaciones de los procesos de extracción y reposición del mismo que marca el VIN.

**3.39.** Manual de taller.

## Ideas clave


EXTRACCIÓN DEL MOTOR
Normas básicas
- Proteger el vehículo
- Diagnosticar la avería
- Documentarnos
- Equiparnos
- Desmontar y montar
- Comprobar
Uniones de los accesorios al motor
- Uniones mecánicas
- Uniones hidráulicas
- Conexiones eléctricas
- Otras conexiones
Herramientas utilizadas
- Las llaves
- Los alicates
- Los destornilladores
- Herramientas para golpear
- Llaves especiales
Disposición de los motores
- Delantero
- Trasero
- Central
Medidas de seguridad
- Colectivas
- Individuales
- Señalizar
- Prevenir
- Protegerse

# BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES EN LA REPARACIÓN DE AUTOMÓVILES

La Unión Europea viene propugnando, a través de distintas normas, la protección del medio ambiente como parte integrante de sus actividades y políticas, a fin de conseguir un desarrollo equilibrado y sostenible, compatible con nuestro actual modelo económico.

El Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, a través de la Unidad Administradora del Fondo Social Europeo y el Instituto Nacional del Empleo, y en colaboración con la Red de Autoridades Ambientales ha elaborado **Manuales de Buenas Prácticas Ambientales** para las diferentes Familias Profesionales, que en nuestro caso serían el Mantenimiento de Vehículos.

## Residuos que se generan en la actividad de la automoción

- **Residuos industriales no peligrosos.** Son los propios de la actividad. Aunque no son peligrosos, requieren una gestión específica, ya que generalmente no están sujetos a recogida domiciliaria. Normalmente se entregan a gestores autorizados o se depositan en puntos limpios. Se trata de: restos de envases y embalajes de cartón, plásticos y vidrios que hayan contenido productos químicos, neumáticos usados, lunas rotas, serrín, trapos, etc.
- **Residuos peligrosos.** Son los principales residuos producidos, tanto por la cantidad, como por su peligrosidad. Entre ellos se encuentran los aceites usados de motor; los líquidos refrigerantes, de frenos, hidráulicos; gases del aire acondicionado, filtros varios, pinturas, lacas, esmaltes, gasóleos y derivados, baterías, tubos de escape, trapos impregnados, etc. Todos se deben gestionar mediante su entrega a gestores autorizados.
- **Residuos voluminosos.** De gran importancia en automoción, al quedar restos de gran tamaño de motores, carrocerías, chatarra, palets, etc. que en su mayoría necesitan una gestión específica.
- **Emisiones atmosféricas.** Se deben principalmente a la quema de carburante en los motores de explosión y a reacción. Las emisiones son gases que atacan a la capa de ozono, gases de efecto invernadero, humos negros, partículas, aerosoles, gases de aire acondicionado que escapan, etc.
- **Vertidos.** Principalmente agua de limpieza de las instalaciones y agua sanitaria. Presentan gran cantidad de limpiadores no necesariamente biodegradables, espumas, aceites y otros fluidos de motor usados.

unidad 4

# Motor de explosión otto de cuatro tiempos

## SUMARIO

- Ciclo otto de cuatro tiempos
- Ciclo teórico de funcionamiento
- Ciclo práctico
- Diagrama de distribución y de trabajo
- Rendimiento
- Modo de encendido

## OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento del motor y sus ciclos de trabajo.
- Analizar el comportamiento interno de los motores otto durante su ciclo de trabajo.
- Utilizar los conceptos físicos para entender los diferentes ciclos y diagramas.
- Interpretar las diferentes gráficas, así como los diagramas del motor.

# 1 >> Ciclo otto de cuatro tiempos

**La principal característica del motor de ciclo otto es que el combustible, ya esté en estado gaseoso o en estado líquido, se mezcla con la cantidad de aire necesaria para que se produzca la combustión.**

La mezcla de aire y combustible es admitida en el cilindro por el movimiento descendente del pistón. El encendido de la mezcla se produce en el instante en el que salta la chispa eléctrica.

Actualmente, los motores otto de cuatro tiempos son conocidos como motores de encendido por chispa o motores de encendido controlado.

Los motores otto más comunes son motores de cuatro tiempos, porque el ciclo se cumple en cuatro carreras del pistón, o lo que es lo mismo, cada dos revoluciones del cigüeñal. Por lo tanto, es el pistón el que se encarga de expulsar los gases quemados del cilindro. Al finalizar la fase de expansión, los gases quemados son sustituidos por una nueva mezcla de aire y combustible, necesaria para llevar a cabo el siguiente ciclo.

El ciclo de cuatro tiempos de un motor que funciona según el ciclo otto incluye las siguientes fases:

- Admisión de la mezcla de aire y combustible necesaria para llevar a cabo el ciclo de funcionamiento en el cilindro.
- Compresión de la mezcla.
- Combustión de la mezcla al saltar la chispa entre los electrodos de la bujía.
- Expansión de los gases quemados en el interior del cilindro.
- Expulsión de los gases quemados a través de los conductos de escape.

## 1.1 > Ciclo teórico de funcionamiento

El orden en el que se producen los cuatro tiempos en los motores otto es el siguiente:

Admisión - Compresión - Trabajo - Escape

### Admisión

**El pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI). La válvula de admisión se abre y la mezcla gaseosa de aire y combustible es aspirada en el interior del cilindro a causa de la depresión producida por el pistón (figura 4.1).**

### Compresión

**En el tiempo de compresión, el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Las válvulas de admisión y de escape están cerradas, y el pistón comprime la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión (figura 4.2).**

El valor máximo de presión se alcanza cuando el pistón está al final de la carrera, precisamente en el PMS. En este instante, el volumen ocupado por la mezcla es el correspondiente al de la cámara de compresión.

## Vocabulario

**Combustión:** reacción química entre un combustible y un comburente con desprendimiento de calor.

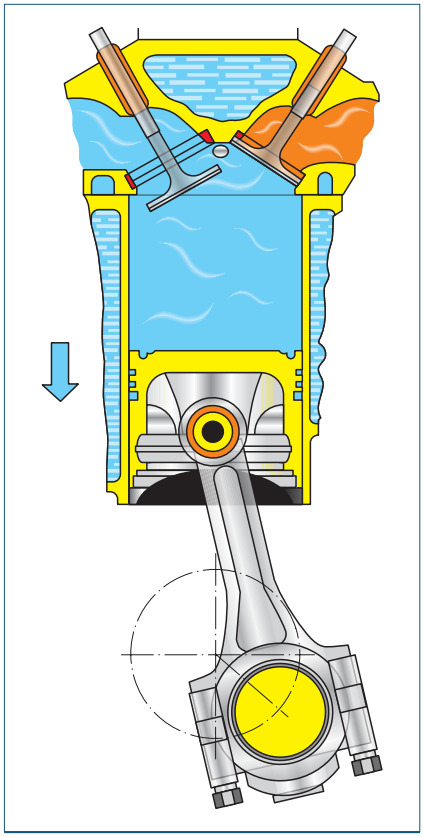
**PMS:** punto muerto superior. Posición del émbolo más cercana a la culata.

**PMI:** punto muerto inferior. Posición del embolo más alejada de la culata

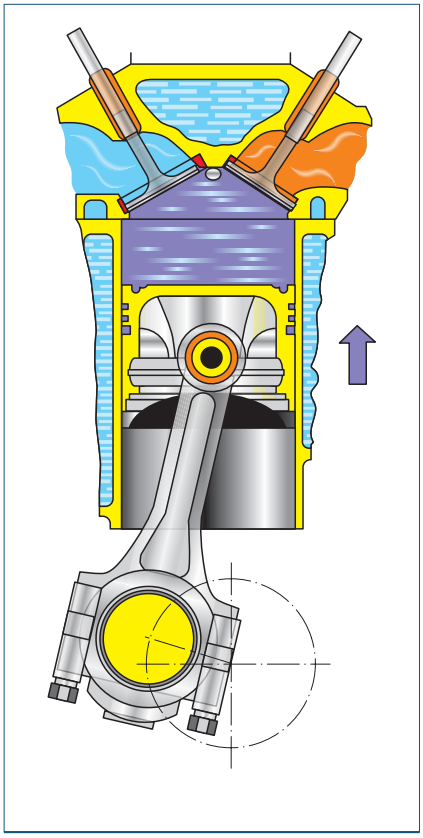
**Carrera:** distancia que recorre el pistón desde el PMS al PMI.

**Depresión o vacío:** fuerza que se genera en el colector de admisión al encontrarse este a una presión inferior a la atmosférica.

Durante esta fase, la mezcla aumenta considerablemente su temperatura debido, principalmente, a la compresión que sufre la mezcla. Por otro lado, también influye el hecho de que las paredes del cilindro, al estar a la temperatura media del ciclo, ceden calor a la mezcla. Este aumento de temperatura nunca debe provocar el encendido espontáneo de la mezcla.



**4.1.** Admisión.



**4.2.** Compresión.

### Trabajo

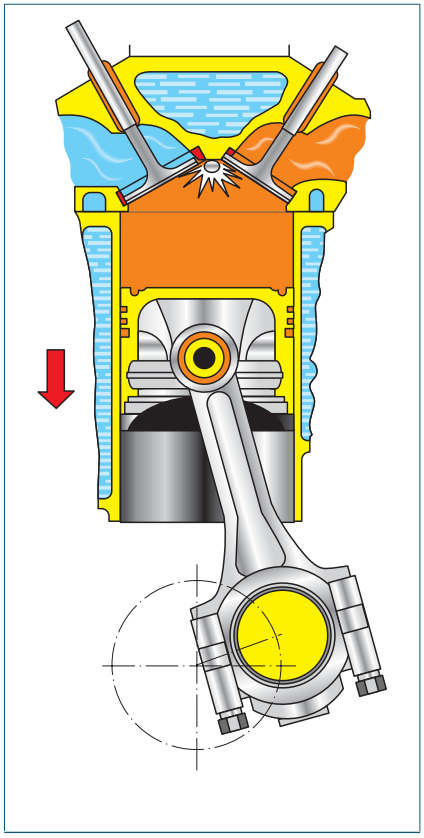
Este tiempo lo podemos dividir en tres etapas:

- **Primera:** cuando el pistón llega al PMS, la mezcla de aire y combustible está comprimida en la cámara de combustión a una temperatura bastante elevada. En ese preciso momento, salta una chispa entre los electrodos de la bujía produciéndose la **explosión.**
- **Segunda:** la chispa provoca el encendido y la rápida **combustión** de la mezcla con el consiguiente aumento de temperatura y presión, provocado por el calor desarrollado durante esta etapa.
- **Tercera:** el aumento casi instantáneo de la presión genera la **expansión** de los gases producidos en la combustión empujando al pistón desde el PMS al PMI.

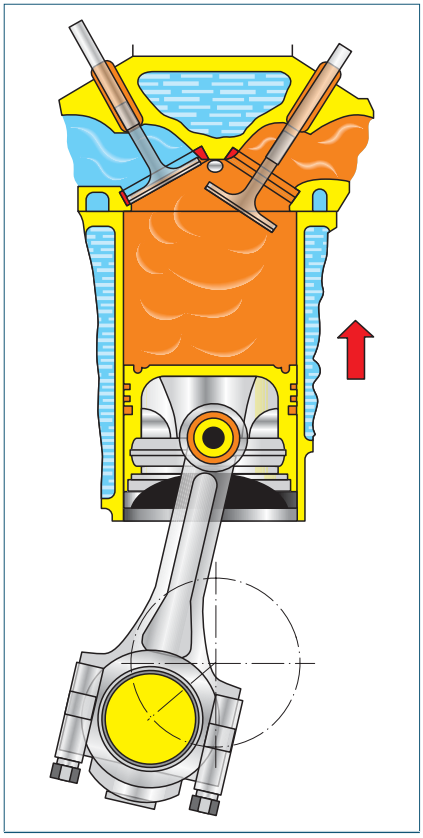
Las válvulas permanecen cerradas durante toda la fase de trabajo. Esta es la fase activa del ciclo; de hecho la presión de los gases quemados, en expansión, provoca la carrera del pistón y aporta la correspondiente energía (figura 4.3).

### Escape

**Cuando el pistón termina su carrera de trabajo alcanzando el PMI, la válvula de escape se abre y los gases quemados, a mayor presión que la exterior, salen rápidamente. Seguidamente, el pistón se desplaza desde el PMI al PMS y expulsa los restantes gases quemados a través de la válvula de escape (figura 4.4).**



**4.3.** Trabajo.



**4.4.** Escape.

Al terminar esta carrera, es decir, cuando el pistón llega al PMS, se vuelve a abrir la válvula de admisión, y empieza otro ciclo de funcionamiento idéntico al anteriormente descrito.

Cada dos revoluciones del cigüeñal se efectúa un ciclo completo. El trabajo útil se produce solamente durante uno de los cuatro tiempos de un ciclo, precisamente durante la carrera que corresponde al final de la fase de combustión y a la fase de expansión. Esta carrera se define como **carrera útil**, en contraposición con las otras tres que se llaman **carreras pasivas**, ya que necesitan de energía para realizarse.

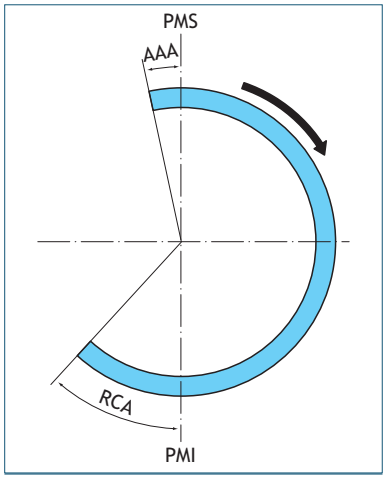
Por esta razón, en un motor endotérmico alterno siempre debe existir energía suficiente para llevar a cabo estas tres carreras pasivas. Dicha energía la suministra el volante del motor, que almacena, bajo forma de energía cinética, una parte de la energía motriz producida durante la carrera activa del ciclo de funcionamiento y la utiliza en las tres carreras pasivas, para que el suministro de potencia del motor sea lo más uniforme posible.

## 1.2 > Ciclo práctico: diagrama de la distribución

Teóricamente las válvulas se abren y cierran cuando el pistón alcanza los puntos muertos superior e inferior. Si realmente se produjera así, el rendimiento del motor sería bajo, ya que las válvulas necesitan un tiempo para abrirse y cerrarse, al igual que la mezcla para arder y desplazarse por los conductos. Para paliar este problema, la apertura y cierre de las válvulas se realiza con ciertos avances y retrasos, al igual que el salto de la chispa en la bujía que se produce con un determinado avance, conocidos como cotas de la distribución y que son las siguientes:

### Avance a la apertura de admisión (AAA)

Para que se llene mejor el cilindro, la válvula de admisión empieza a abrirse con un ligero anticipo con respecto al PMS, de esta forma se consigue que cuando el pistón alcance el PMS la válvula se encuentre totalmente abierta y los gases puedan entrar con cierta facilidad al cilindro (figura 4.5).




**4.5.** Diagrama de admisión.

### Retraso al cierre de admisión (RCA)

La válvula de admisión se cierra con un cierto retraso respecto al PMI para aprovechar la inercia de los gases que siguen entrando en el cilindro, a pesar de que el pistón haya comenzado la siguiente carrera. De esta manera, se consigue un mejor llenado y, por tanto, un mayor rendimiento volumétrico (figura 4.5).

### Avance al encendido (AE)

Unos grados antes de que el pistón llegue al PMS salta una chispa entre los electrodos de la bujía. Dicha chispa provoca el encendido y la rápida combustión de la mezcla. De esta forma se consigue la presión máxima cuando el pistón se encuentre en las proximidades del PMS.

### Avance a la apertura de escape (AAE)

Antes de que el pistón termine su carrera de trabajo y se alcance el PMI, la válvula de escape se abre, y los gases quemados, que tienen una presión mayor de la exterior, salen rápidamente; la presión en el interior del cilindro desciende y de esta forma se facilita el desplazamiento del pistón hacia el PMS (figura 4.6).

### Retraso al cierre de escape (RCE)

Para que los gases sean expulsados completamente al exterior es necesario que la válvula termine de cerrarse poco después del PMS, consiguiendo además un efecto de aspiración ejercido sobre los gases frescos, que hace que el rendimiento mejore (figura 4.6).

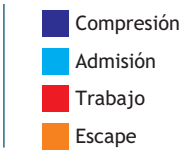
A una determinada posición del pistón en el interior del cilindro, le corresponde siempre una misma posición de la manivela del cigüeñal. De esta forma, se pueden reflejar todas las fases de funcionamiento del motor, con sus correspondientes avances y retrasos, en un diagrama angular que mide los ángulos de la manivela (figura 4.7).

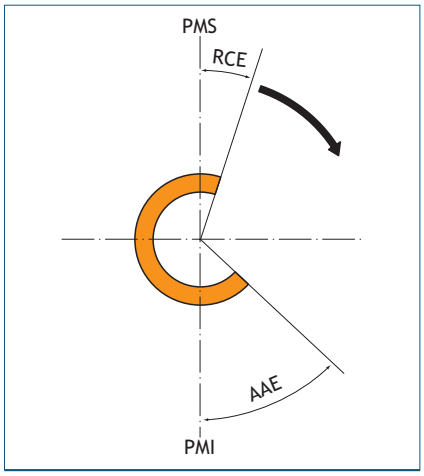
### Tiempo de explosión

El **tiempo de encendido** es muy pequeño, por ejemplo en un motor que gire a 4 000 rpm se producirán 2 000 encendidos por minuto y cilindro.

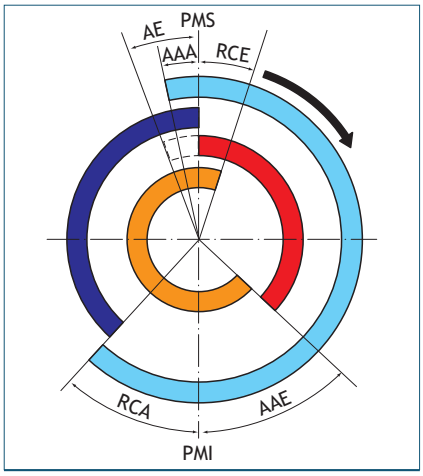
### Cruce de válvulas

El tiempo de escape termina unos grados después del PMS, y el tiempo de admisión empieza unos grados antes. De esta forma, hay un tiempo durante el cual las dos válvulas están abiertas, llamado **cruce de válvulas** (figura 4.8).

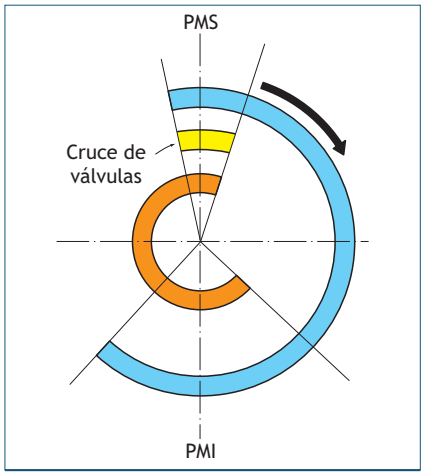



**4.6.** Diagrama de escape.




**4.7.** Diagrama completo de la distribución.




**4.8.** Cruce de válvulas.

Aunque cabe esperar que durante el tiempo de cruce de válvulas, los gases frescos salgan por el escape, no ocurre así, ya que, debido a la velocidad que llevan los gases de escape, crean una succión que facilita la entrada de la mezcla, barriendo esta los gases residuales.

Con esta disposición se eliminan mejor los gases quemados, mejorando de esta forma el rendimiento del motor.

## Casos prácticos

### Cálculo de los diferentes grados que corresponden a cada tiempo

•• Un motor de cuatro tiempos tiene las siguientes cotas de distribución:

AAA: 9° RCA: 61° AAE: 49° RCE: 21°

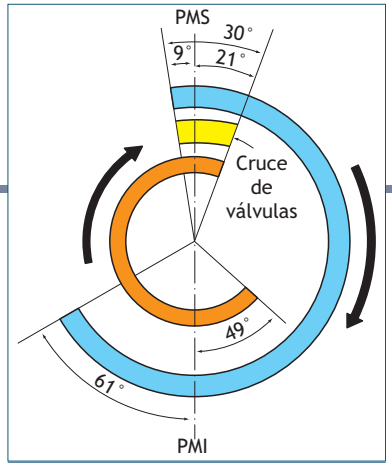
Calcula los grados que corresponden a los tiempos de admisión, escape y el cruce de válvulas.

**Solución** •• En la figura 4.9 se muestran las cotas necesarias. Los grados definitivos en cada tiempo será el resultado de sumar a los 180º del ciclo teórico, el avance y el retraso correspondiente:

- Admisión: 180° + 9° + 61° = 250°
- Escape: 180° + 49° + 21° = 250°

El cruce de válvulas será igual a sumar los grados en los que las 2 válvulas se mantienen abiertas:

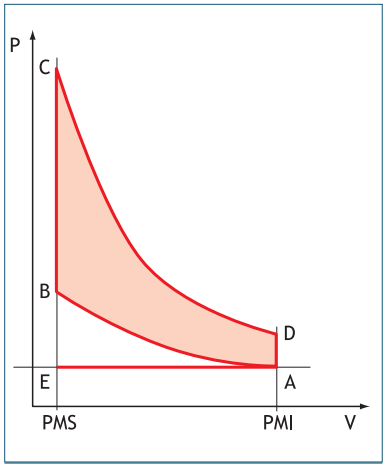
Cruce = 9° + 21° = 30°




**4.9.** Grados que corresponden a cada tiempo.

## Vocabulario

**Trabajo:** forma de energía directamente proporcional a la potencia. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Julio.




**4.10.** Diagrama teórico de trabajo.

| Transformaciones | |
|---|---|
| Adiabática | Es toda evolución que se realiza sin pérdida ni aporte de calor |
| Isobara | Es toda evolución que se realiza a presión constante |
| Isócora | Es toda evolución que se realiza a volumen constante |

## 2 >> Diagramas de trabajo

**El trabajo es el producto de la fuerza aplicada en un punto por la longitud que se ha desplazado dicho punto en el sentido y dirección de la fuerza.**

La fórmula correspondiente al trabajo es:

$$T = F \cdot e$$

Teniendo en cuenta que $P = \frac{F}{S}$, se puede concluir que $F = P \cdot S$.

Sustituyendo la fuerza en la fórmula de la presión se obtiene que:

$$T = P \cdot S \cdot e$$

Finalmente, como $V = S \cdot e$, queda:

$$T = P \cdot V$$

Así, el trabajo realizado por un motor, se puede representar en un gráfico con el volumen en el eje de abscisas y la presión a la que se llega a lo largo del ciclo en el eje de ordenadas. De esta manera se mide el trabajo aprovechado y el trabajo perdido.

### 2.1 > Diagrama teórico de trabajo

El ciclo **otto** teórico (figura 4.10) consta de las siguientes fases:

- **Admisión (E-A).** El cilindro se llena de mezcla, ocupando teóricamente todo el volumen. Se produce a presión atmosférica, por tanto es una transformación isobara.
- **Compresión (A-B).** La mezcla se comprime en el interior del cilindro. Este tiempo se produce sin pérdida de calor, tratándose en este caso de una transformación adiabática.
- **Explosión (B-C).** En el punto B salta la chispa produciéndose la combustión de la mezcla, con aporte de calor a volumen constante (transformación isócora).
- **Expansión (C-D).** Se produce el desplazamiento del pistón por la presión interna generada, que va descendiendo progresivamente al aumentar el volumen (transformación adiabática).
- **Escape espontáneo (D-A).** Cuando se abre la válvula de escape, los gases residuales salen al exterior debido a la diferencia de presiones, hasta que estas se igualan (transformación isócora).
- **Escape (A-E).** El pistón realiza el barrido de los gases residuales. Teóricamente esta carrera se produce a la presión atmosférica (transformación isobara).

El trabajo efectivo o aprovechado se puede observar en la figura 4.10 mediante la superficie representada de color rojo por dentro de los vértices A-B-C-D.

### 2.2 > Diagrama real de trabajo

En el ciclo **otto** real (figura 4.11), la sucesión de las fases es la siguiente:

- **Admisión (E-A).** En realidad no se produce a presión constante, debido a que el llenado del cilindro no es total.

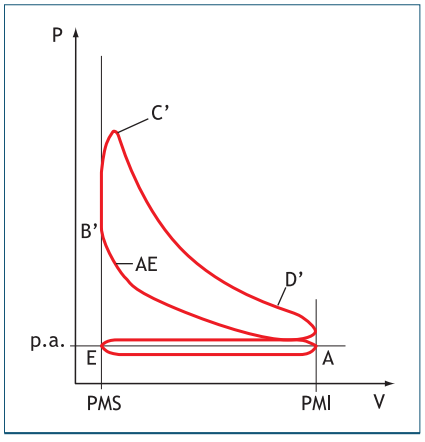
– **Compresión de la mezcla de aire y combustible (A-B').** Se parte de una presión inferior a la teórica, con lo cual la presión final que se consigue es menor; aunque esta se compensa con el avance al encendido (AE). Existe una transmisión de calor por parte de las paredes, y un desplazamiento del pistón del punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS).
– **Combustión (B'-C').** Al saltar la chispa, la combustión no se realiza de forma instantánea pues la mezcla necesita un tiempo para quemarse. La presión final conseguida es inferior a la teórica, debido al aumento de volumen.
– **Expansión del fluido (C'-D').** En este caso, se produce un trabajo útil menor, ya que se parte de una presión más pequeña y esto hace que la fuerza de empuje sobre el pistón sea inferior a la teórica. Además, hay una cesión de calor a las paredes del cilindro.
– **Apertura del escape en D', anticipado con respecto al PMI.** En este caso la presión no baja de forma instantánea, pues los gases necesitan un tiempo para salir al exterior.
– **Expulsión de los gases quemados (A-E).** Este tiempo no se produce a presión constante, ya que las válvulas necesitan un cierto tiempo para actuar.

## 2.3 > Rendimiento

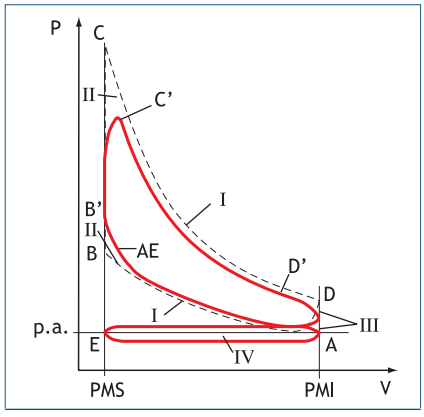
Comparando el diagrama resultante del ciclo otto real con el teórico, puede comprobarse que el rendimiento es inferior al esperado, resultando un trabajo útil menor, determinado por la superficie representada en la figura 4.12.

Las diferencias de trabajo entre el ciclo teórico y el real se deben, esencialmente, a las siguientes causas:

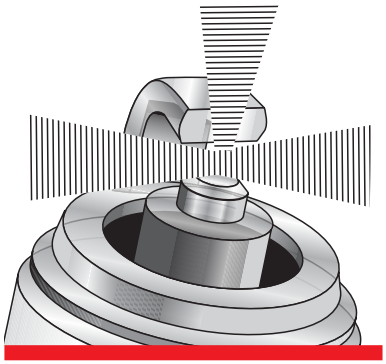
– Pérdidas de calor a través de las paredes, debido a la necesidad de refrigerar los órganos del motor (superficie I).
– Necesidad de anticipar el encendido con respecto al PMS, ya que la combustión no es instantánea y necesita de un determinado tiempo (superficie II).
– Avance de apertura del escape, ligado a la inercia de las válvulas y de las masas de los gases (superficie III).
– Pérdidas de trabajo de bombeo durante la carrera de escape y de admisión (superficie IV).




**4.11.** Diagrama real de trabajo.

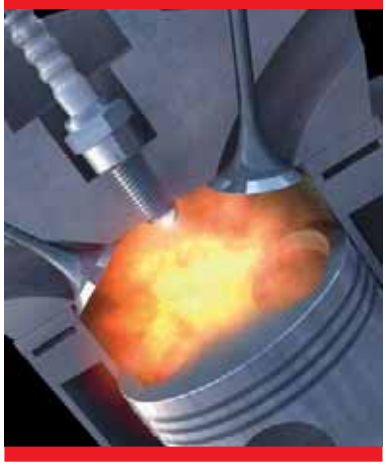



**4.12.** Diferencias entre el diagrama real y el teórico.



**Frente de llama**

El diseño en «V» en la bujía ayuda a mejorar la eficiencia de la combustión. Se obtiene así un frente de llama adicional a los dos laterales, produciendo una combustión mucho más agresiva y de mayor magnitud.



**Temperatura de combustión**

Durante el tiempo de combustión se alcanzan temperaturas muy altas dentro del cilindro.

## 3 >> Modo de encendido

En los motores de gasolina, el encendido se produce haciendo saltar una chispa eléctrica en el interior de los cilindros, para producir la combustión de la mezcla aire-gasolina. La chispa se produce al generar una descarga eléctrica a través de los electrodos de la bujía (figura 4.13).

La presión en el interior del cilindro al final de la compresión es muy elevada, con lo cual la resistencia entre los electrodos para producir la chispa es importante. Para que la chispa atraviese la masa de aire en condiciones normales de funcionamiento se necesitan tensiones muy altas en la bujía. Esto se consigue mediante el sistema de encendido.

La combustión de la mezcla va produciéndose por capas, es decir, de una forma progresiva. Se puede observar en la figura 4.14 cómo va variando la presión, en los tiempos de compresión y trabajo.

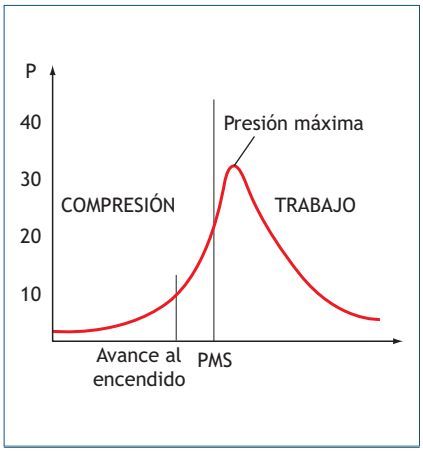
Unos grados antes de que el pistón alcance el PMS se produce el salto de chispa y comienza la combustión; el volumen sigue disminuyendo, por lo que la presión aumenta. Cuando el pistón llega al PMS, el volumen comienza a aumentar de nuevo, pero como la combustión sigue, aumenta la temperatura, con lo cual la presión sigue subiendo hasta unos grados después de iniciar la carrera de trabajo, alcanzando la presión máxima en este punto.

En el avance al encendido, es necesario que la chispa salte unos grados antes del PMS. Este avance es diferente para cada régimen de revoluciones, pues cuanto mayor sea la velocidad de giro del cigüeñal, menor es el tiempo que se dispone para quemar la mezcla. De esta forma, el avance será mayor cuando aumenten las revoluciones.

Durante este tiempo, se transforma la energía calorífica del combustible en el trabajo necesario para hacer girar el eje del cigüeñal. La cantidad de trabajo obtenido dependerá de tres factores:

– De la presión interna.
– De la potencia de la chispa en la bujía.
– De la cantidad de aire con relación al combustible.

**4.13.** Salto de la chispa en bujía.




**4.14.** Variación de la presión de combustión.

## Actividades finales

**1··** Contesta a las siguientes preguntas, que están referidas a motores otto de cuatro tiempos en los cuales el ciclo teórico se efectúa en cuatro carreras (tiempos) del pistón:

- ¿Qué nombre recibe cada tiempo? ¿En qué orden se producen?
- ¿El pistón lleva el mismo sentido en todos los tiempos? Si la respuesta es no indica la diferencia.
- ¿En qué tiempos las válvulas están cerradas?
- ¿De los cuatro tiempos en cuántos se produce energía y en cuántos se consume? ¿Cuáles son cada uno?
- ¿Cada tiempo a cuántos grados de giro del cigüeñal corresponde?

**2··** Según el ciclo práctico:

- ¿En qué se diferencia el tiempo de admisión respecto del ciclo teórico?
- ¿Cuándo se produce el cruce de válvulas?
- ¿Cómo se produce el tiempo de escape?

**3··** Un motor de 4 tiempos tiene las siguientes cotas de distribución:

AAA: 18°
RCA: 60°
AAE: 60°
RCE: 15°

Dibuja el diagrama de la distribución de este motor y determina los ángulos de apertura y cierre de las válvulas así como el cruce de válvulas.

**4··** Según el diagrama de trabajo teórico indica qué tiempos se producen mediante:

- Una transformación adiabática.
- Una transformación isobara.
- Una transformación isócora.

**5··** ¿Qué representa la superficie del diagrama teórico de trabajo obtenido durante el funcionamiento de un motor, y qué factores intervienen en la representación del mismo?

**6··** Dibuja el diagrama real de trabajo e indica las pérdidas respecto al diagrama teórico.

**7··** ¿En qué momento se produce el encendido de la mezcla según cada ciclo?

**8··** ¿El avance al encendido es constante independientemente del número de revoluciones? Si la respuesta es no, indica: cómo varía, cuándo y por qué.

**9··** Localiza la información técnica de 2 motores otto de cilindradas diferentes y toma nota de los avances y retrasos correspondientes al tiempo de admisión y escape en cada caso.

**10··** Mediante la información técnica correspondiente a uno de los motores del taller, encuentra dónde están situadas las marcas correspondientes al encendido, indica cuántas son y qué significa cada una de ellas.

## Caso final

### Análisis de los ciclos de funcionamiento de un motor otto de cuatro tiempos

•• Sobre un motor otto en línea de 4 cilindros, 4 tiempos y orden de encendido 1 - 3 - 4 - 2.

Se pide:

a) De los cuatro tiempos solamente en uno de ellos se genera energía. Indica en cuál de ellos, y explica por qué son necesarios el resto de los tiempos.

b) ¿En cuáles de los tiempos las válvulas permanecen cerradas? ¿Por qué? Indica en la figura 4.15 qué tiempo se está produciendo en cada cilindro en función del estado de las válvulas y el movimiento del pistón.

c) Cuando se miden las cotas de la distribución se obtienen los siguientes resultados:

AAA: 22°
RCA: 50°
AAE: 47°
RCE: 20°

Con estos datos, calcula:

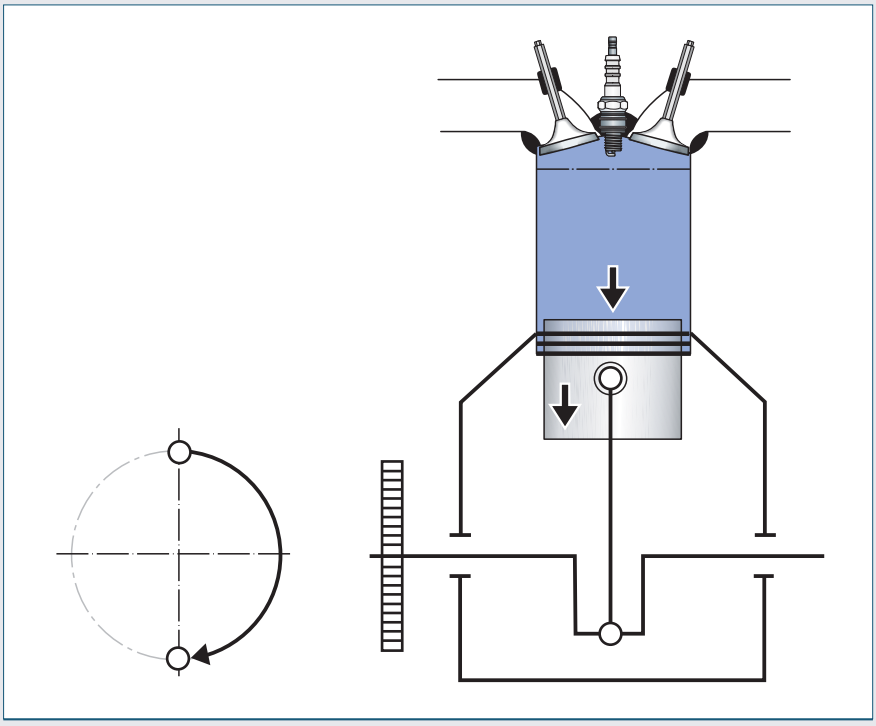
- Los grados que permanece abierta la válvula de admisión.
- Los grados que permanece abierta la válvula de escape.
- Los grados que le corresponden al cruce de válvulas.

### Solución ••

a) El único tiempo en el que se genera energía es en el tiempo de trabajo.

El resto de los tiempos son complementarios de este y son necesarios por:

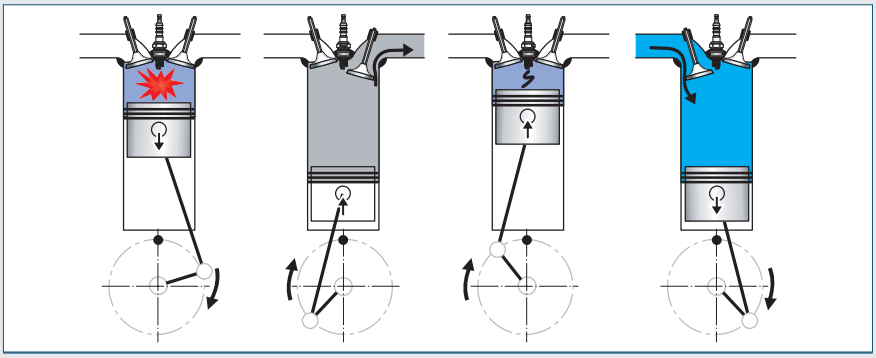
- Admisión. Para que se introduzca la mezcla en el cilindro.
- Compresión. Para aumentar la presión de la mezcla y de esta manera se pueda producir la explosión en el tiempo de trabajo.
- Escape. Para expulsar los gases y de esta manera puedan pasar al cilindro los gases frescos en el siguiente tiempo.



**4.15.** Forma de producirse el tiempo de trabajo.

b) Los tiempos en los cuales las válvulas se encuentran cerradas son compresión y trabajo pues en ambos casos se necesita aumentar la presión y para ello es necesario que no haya pérdidas de gases a través de las válvulas. Los tiempos que se están produciendo en cada cilindro son:

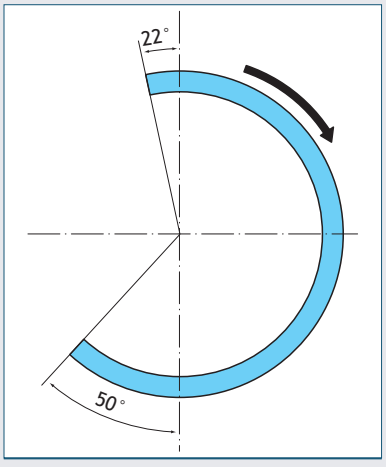
- Trabajo. El pistón se desplaza desde el PMS al PMI, las 2 válvulas se encuentran cerradas.
- Escape. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS, la válvula de escape se encuentra abierta y la de admisión cerrada.
- Compresión. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS, las 2 válvulas se encuentran cerradas.
- Admisión. El pistón se desplaza desde el PMS al PMI, la válvula de admisión se encuentra abierta y la de escape cerrada.



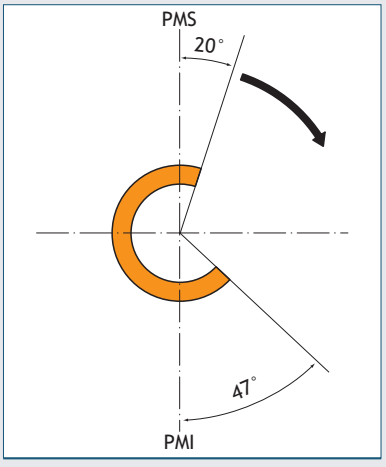
**4.16.** Los cuatro tiempos del motor otto.

c) Según el ciclo teórico para cada tiempo, el cigüeñal girará 180°. En este caso hay que sumar los avances y retrasos correspondientes a cada tiempo para calcular los grados totales resultando:

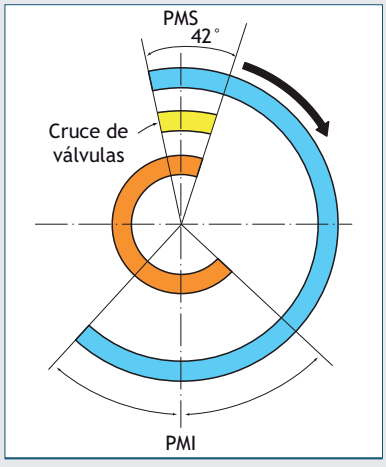
Admisión: 180° + 22° + 50° = 252°
Escape: 180° + 47° + 20° = 247°
El cruce de válvulas resulta de sumar los grados del AAA y el RCE, ya que es durante este tiempo cuando las 2 válvulas permanecen abiertas:
Cruce = 22° + 20° = 42°




**4.17.** Tiempo de admisión.

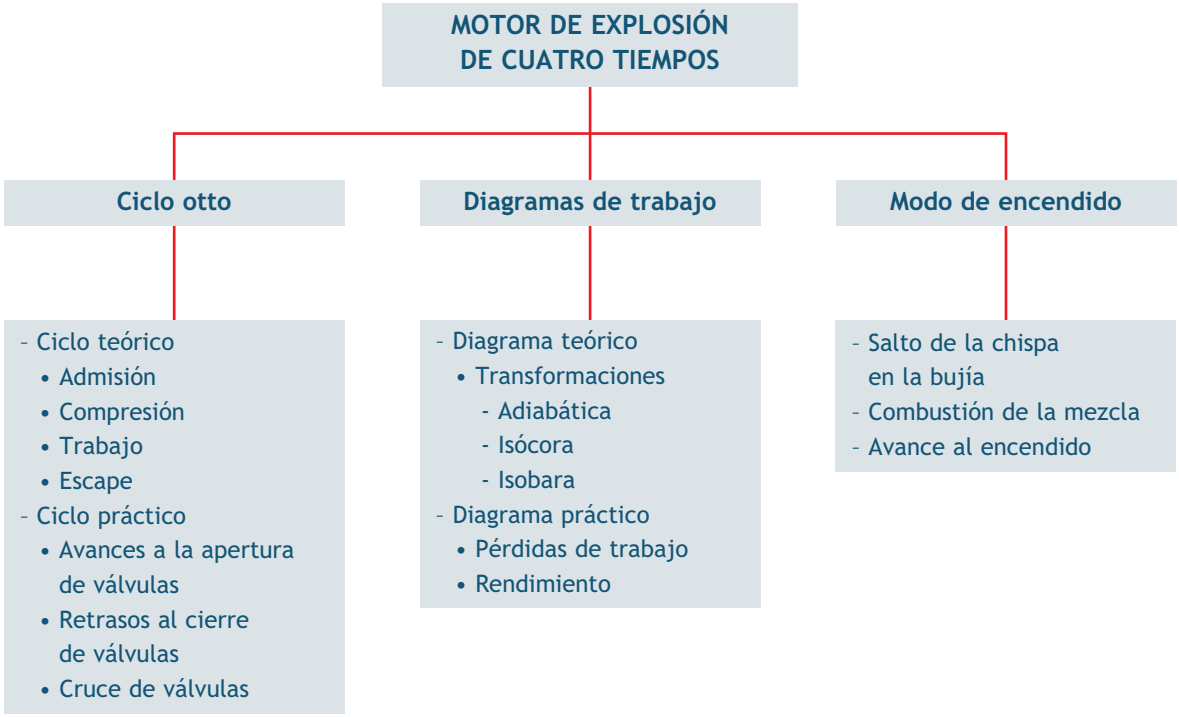



**4.18.** Tiempo de escape.




**4.19.** Cruce de válvulas.

## Ideas clave


MOTOR DE EXPLOSIÓN DE CUATRO TIEMPOS
Ciclo otto
- Ciclo teórico
• Admisión
• Compresión
• Trabajo
• Escape
- Ciclo práctico
• Avances a la apertura de válvulas
• Retrasos al cierre de válvulas
• Cruce de válvulas
Diagramas de trabajo
- Diagrama teórico
• Transformaciones
- Adiabática
- Isócora
- Isobara
- Diagrama práctico
• Pérdidas de trabajo
• Rendimiento
Modo de encendido
- Salto de la chispa en la bujía
- Combustión de la mezcla
- Avance al encendido

# MOTORES OTTO FIABLES Y SILENCIOSOS

Para la aplicación en vehículos se necesitan motores fiables, silenciosos y ligeros; que no ocupen mucho volumen y que tengan las menores vibraciones posibles. El arranque y el calentamiento normal deben ser rápidos, y el funcionamiento ha de ser regular en todos los regímenes, incluso en la aceleración. Por otro lado, las emisiones de gases contaminantes no deben superar los límites establecidos en las leyes nacionales e internacionales.

Se puede decir que las ventajas de los motores de cuatro tiempos, respecto a otros tipos de motores, son:

- La regularidad de marcha con bajos regímenes y baja carga.
- Bajos consumos específicos conseguidos mediante un sistema de inyección de combustible gestionado electrónicamente.
- Menores emisiones contaminantes, al ser controladas por los catalizadores.

Su uso en el futuro puede ser mayor gracias al desarrollo de nuevas tecnologías.

Los actuales motores para vehículos son en su mayoría de 4 tiempos.

## Tendencias evolutivas futuras

La tecnología en el campo del automóvil ha avanzado mucho en estos últimos años. Durante los años 60, los esfuerzos se dirigían a incrementar las prestaciones y la fiabilidad del motor, y la tecnología se desarrolló lo suficiente como para empezar la producción en serie.

El problema de la contaminación, con normativas cada vez más estrictas, obligó a los constructores a buscar métodos y soluciones tecnológicas más «limpias».

Las dos graves crisis del petróleo en los años 70 modificaron de nuevo los proyectos, dando más importancia al menor consumo y respetando la normativa anticontaminación.

La relativa estabilidad del mercado petrolífero y el creciente nivel de bienestar de los países industrializados, fenómenos todos de los años 80, han llevado al estudio de vehículos con prestaciones cada vez más elevadas, no solamente en velocidad, sino también en comodidad y confort.

## Objetivos futuros

Los años 90 confirmaron lo que ya se estaba desarrollando: la tecnología es la encargada de combinar las opuestas exigencias (prestaciones elevadas y comodidad de conducción; elevada fiabilidad y múltiples funciones a controlar; bajos niveles de contaminación y bajos consumos…) con el objetivo de minimizar los costes, a través de una gestión cada vez más integrada en los proyectos, experimentación y producción.

Esto se consigue gracias a un uso intensivo de tecnologías más avanzadas y modernas, que permitan intervenir en el campo de los proyectos, y en el de la producción, más rápidamente y con mayor versatilidad que con los recursos tradicionales, gracias a la manipulación y gestión de enormes cantidades de información en tiempos muy cortos.

Por lo tanto, podemos predecir que la evolución de los vehículos del futuro se basará en:

- Aumentar las prestaciones.
- Disminuir los consumos específicos.
- Reducir la contaminación.
- Mejorar la comodidad durante la conducción.

unidad 5

# Motor alternativo de combustión diésel

## SUMARIO

- Ciclo diésel de cuatro tiempos
- Ciclo teórico de funcionamiento
- Diagrama de la distribución
- Diagramas teórico y real de trabajo

## OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento del motor diésel y sus ciclos de trabajo. Ventajas e inconvenientes respecto al motor otto.
- Analizar el comportamiento interno de los motores diésel durante los ciclos de trabajo.
- Utilizar los conceptos físicos para entender los diferentes ciclos y diagramas.
- Interpretar las diferentes gráficas, así como los diagramas del motor.
- Establecer las diferencias esenciales entre los motores otto y diésel.

# 1 >> Ciclo diésel de cuatro tiempos

**Los motores diésel, al igual que los de explosión, son motores alternativos endotérmicos de combustión interna, es decir, transforman la energía en el interior del cilindro.**

Estos motores se caracterizan por su sistema de alimentación, por la forma de realizar la combustión y por su alto rendimiento, al conseguir trabajar a presiones muy elevadas. De esta manera, obtienen un mayor trabajo útil y un mejor aprovechamiento del combustible.

Los motores diésel solamente comprimen aire, por lo que la relación de compresión puede ser mayor, siendo introducido el combustible a una presión muy elevada en el tiempo de trabajo, para producir la combustión. Son conocidos como **motores de encendido por compresión.**

El ciclo de cuatro tiempos de un motor diésel incluye las siguientes fases:

– Admisión de aire en el cilindro.
– Compresión del aire en la cámara de compresión.
– Inyección de combustible a presión que, al entrar en contacto con el aire a elevada temperatura, produce la combustión.
– Expansión de los gases quemados en el interior del cilindro.
– Descarga espontánea de los gases quemados en el cilindro por la apertura de la válvula de escape.
– Expulsión de los gases quemados por el empuje del pistón.

Las fases de un motor de ciclo diésel difieren de las de un motor de ciclo otto exclusivamente en la admisión de aire en lugar de la mezcla de aire-combustible y por la inyección de combustible. Entre las fases de un motor de ciclo diésel, y un motor de ciclo otto solo encontramos una diferencia: mientras en el diésel, el aire y el combustible entran por separado en el cilindro, en el ciclo otto se produce una admisión conjunta de la mezcla aire-combustible.

El ciclo de un motor de cuatro tiempos se cumple en cuatro carreras del pistón, o lo que es lo mismo, dos revoluciones del cigüeñal. El pistón se encarga de expulsar los gases quemados del cilindro al finalizar la fase de expansión, y los sustituye con una nueva cantidad de aire, necesaria para llevar a cabo el siguiente ciclo.

## 1.1 > Ciclo teórico de funcionamiento

El ciclo de trabajo en el motor diésel de cuatro tiempos se efectúa en cuatro carreras del pistón en el orden siguiente:

Admisión - Compresión - Trabajo - Escape

### Admisión

El pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), se abre la válvula de admisión y entra en el cilindro el aire perfectamente filtrado.

### Rudolf Diesel

El motor diésel recibe el nombre de su inventor, el alemán Rudolf Diesel, que construyó el prototipo en 1897.

**5.1.** Motor diésel. Fuente: BOSCH.

### Cámara de compresión en motores diésel

La cámara de compresión en los motores diésel es más pequeña que en los motores otto y normalmente va mecanizada en el pistón, siendo la culata totalmente plana.

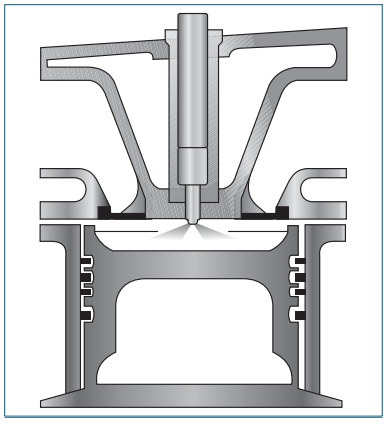
**5.2.** Pistón para motor diésel de inyección indirecta.

### Relación de compresión en motores diésel

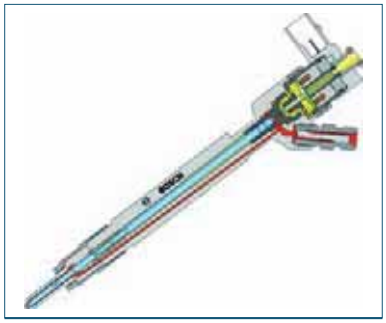
La relación de compresión en los motores diésel es mayor que en los motores otto. El volumen de la cámara de compresión es inferior, aumentando por tanto la presión en el tiempo de compresión.

### Inyección

La inyección consiste en introducir en el interior de la cámara de combustión el combustible debidamente pulverizado y en las condiciones para que se pueda efectuar su quemado completo.



**5.3.** Inyección de combustible.



**5.4.** Inyector. Fuente: BOSCH.

## Compresión

Se cierra la válvula de admisión y el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. El aire introducido durante la admisión se comprime en la cámara de combustión.

Durante esta fase aumenta notablemente la temperatura del aire hasta alcanzar aproximadamente de 700 a 800 °C. Este aumento de temperatura se produce principalmente por la elevada presión a la que está sometido el aire.

## Trabajo

Para el estudio de este tiempo, al igual que en el motor otto, lo vamos a dividir en tres etapas. En este caso son:

– **Inyección.** Cuando el pistón llega al PMS, se abre dentro del inyector el conducto correspondiente y entra el combustible perfectamente pulverizado a una presión elevada. El inyector (figura 5.4) es una pieza fundamental en el encendido de los motores diésel. Consiste en un mecanismo que recibe el combustible a una presión elevada y lo inyecta en la cámara de compresión perfectamente dosificado y pulverizado.
– **Combustión.** El encendido se produce espontáneamente, al entrar en contacto el combustible con el aire comprimido que tiene una temperatura superior a la del encendido del combustible. El incremento de temperatura, junto con la gran turbulencia, facilita la combustión del resto del combustible que, llegando a través del inyector, se quema al entrar en contacto con el aire. La presión se mantiene casi constante durante parte de la combustión.
– **Expansión.** Los gases a presión generados por la combustión se expanden y empujan al pistón, desplazándolo desde el PMS al PMI y generando el correspondiente trabajo.

Las válvulas, al igual que en el motor de explosión, permanecen cerradas durante toda la fase de trabajo. Esta es la carrera activa del ciclo; de hecho, la presión de los gases quemados, en expansión, provoca la carrera del pistón y aporta la correspondiente energía para que pueda girar el cigüeñal.

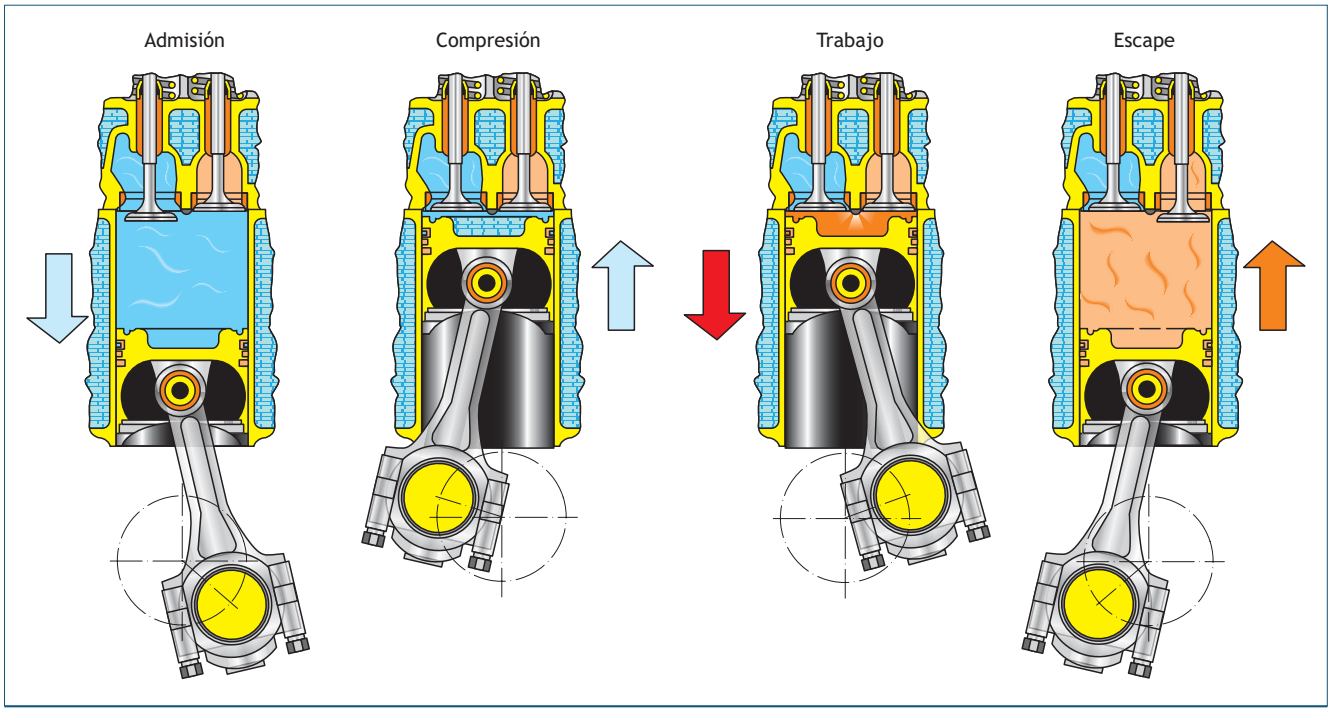
## Escape

Cuando el pistón llega al PMI, se abre la válvula de escape, y los gases quemados, con una presión mayor que la exterior, salen rápidamente del cilindro hasta alcanzar una presión semejante a la atmosférica.

El pistón sigue su desplazamiento expulsando el resto de gases quemados del cilindro, a través de la válvula de escape.

Al finalizar esta carrera, cuando el pistón alcanza el punto muerto superior, se abre de nuevo la válvula de admisión, se cierra la de escape y vuelve a comenzar el ciclo de funcionamiento.

Por cada dos vueltas del cigüeñal se produce un ciclo completo. El trabajo útil se genera durante una de las cuatro carreras del ciclo, precisamente durante la carrera que corresponde al tiempo de trabajo.




**5.5.** Ciclo teórico de funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos.

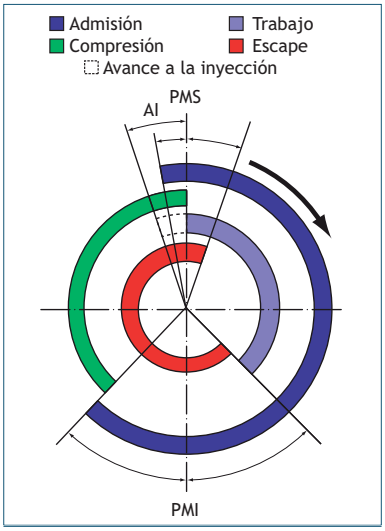
## 1.2 > Diagrama de la distribución

En el motor diésel, al igual que en el motor de ciclo otto, se puede representar la duración de los diferentes tiempos en grados mediante un diagrama angular (figura 5.6).

Según el ciclo teórico de funcionamiento, las válvulas se abren y cierran cuando el pistón alcanza los puntos muertos superior e inferior, igual que en el motor de gasolina. En realidad, esto no se produce así, ya que las válvulas tardan unos instantes en abrirse y cerrase, y el gasoil requiere un tiempo para mezclarse con el aire y arder. Para paliar este problema, la apertura y cierre de las válvulas se realiza con los correspondientes avances y retrasos en los tiempos de admisión y escape; de la misma manera que la inyección de combustible se produce con un determinado avance, conocido en este caso como **avance a la inyección**.

En este caso, el **cruce de válvulas** puede ser mayor que en el motor otto, ya que en el caso del motor diésel en la admisión solamente entra aire en el cilindro y, por tanto, no resulta problemático que una parte del aire introducido sea expulsado por la válvula de escape, consiguiendo un mejor barrido de los gases quemados. El resto de las cotas de la distribución son muy parecidas a los motores de gasolina, siendo diferentes para cada modelo.

Para que se produzca el arranque en motores diésel es necesario el uso de bujías de incandescencia, como la que aparece en la figura 5.7, o calentadores, para que calienten la cámara de combustión. Mediante un filamento por el que circula la corriente eléctrica, se genera la cantidad de calor suficiente para que comience la combustión.




**5.6.** Diagrama de la distribución.

**5.7.** Bujía de incandescencia.

### 1.3 > Diferencias entre motores otto y diésel

Aunque aparentemente son motores muy similares, hay una serie de características que los diferencian, como pueden ser las mencionadas en la siguiente tabla.

| | Tipo de motor | |
|---|---|---|
| | Otto | Diésel |
| Admisión | Entrada de mezcla en el cilindro. | Entrada de aire en el cilindro. |
| Compresión | Relación de compresión limitada por el índice de octano del combustible. | Relación de compresión alta, al comprimir solamente aire. |
| Encendido | La inflamación de la mezcla se produce mediante una chispa eléctrica. | La inflamación se consigue mediante una elevada compresión del aire y una inyección de combustible a alta presión. |
| Elementos estructurales | Se utilizan materiales muy ligeros, ya que se consiguen altas revoluciones. | Los materiales utilizados son más pesados, pues están sometidos a grandes presiones. |
| Mezcla de aire-combustible | Se produce en el colector de admisión, en la proporción adecuada. | Producida en la cámara de compresión, al introducir el combustible a presión elevada. |
| Rendimientos | Bajos rendimientos, tanto térmico como volumétrico. | Mejores rendimientos, trabaja a temperaturas más altas y empleo frecuente de la sobrealimentación. |
| Consumo | Alto consumo específico. | Consumo específico inferior. |
| Duración | Limitada, pues trabaja normalmente a revoluciones altas. | Al trabajar a regímenes inferiores soportan gran número de kilómetros. |
| Ruidos | Motor muy silencioso. | Motor más ruidoso. |
| Arranque | Fácil en todas las épocas del año. | Algunos problemas, sobre todo en zonas extremadamente frías. |

## Actividades propuestas

1·· Localiza la información técnica de dos motores, uno diésel y otro otto que tengan el mismo número de cilindros y potencias similares. Posteriormente contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál de los dos motores es capaz de alcanzar un mayor número de revoluciones por minuto de giro del cigüeñal?
- ¿En cuál de ellos será mayor la presión en el tiempo de compresión? ¿Por qué?
- ¿A qué motor le corresponderá menor cilindrada?
- ¿Qué diferencias te encontrarás en la cabeza del pistón?
- En el tiempo de trabajo, ¿podrías indicar las diferencias y semejanzas entre uno y otro?
- ¿En cuál de los dos consideras que hay mayor pérdida de calor?

## 2 >> Diagramas de trabajo

El trabajo realizado por un motor diésel de cuatro tiempos puede representarse como una superficie dentro de un eje de coordenadas, con el volumen del cilindro en el eje de abscisas y la presión a lo largo del ciclo en el eje de ordenadas.

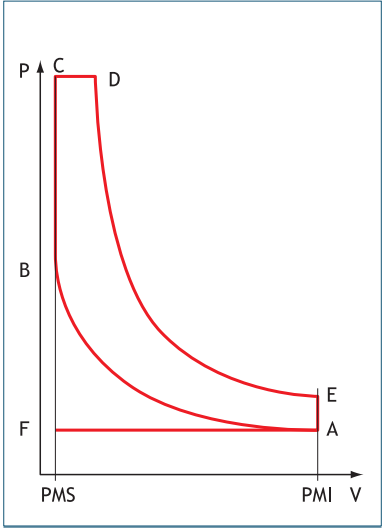
De esta manera se mide el trabajo aprovechado, así como las diferentes pérdidas.

### 2.1 > Diagrama teórico de trabajo

El ciclo teórico de un motor diésel, representado en la figura 5.8, consta de las siguientes fases:

– **Admisión (F–A).** El cilindro se llena de aire, teóricamente ocupando todo el volumen. Esta fase se desarrolla a presión atmosférica, es decir, se trata de una transformación isobara.
– **Compresión (A–B).** Se comprime el aire en el interior del cilindro alcanzando una presión muy elevada debido a la alta relación de compresión. En este tiempo la transformación es adiabática, porque se produce sin pérdida de calor.
– **Inyección (B–C).** En el punto B, el combustible es introducido en el cilindro finamente pulverizado y a una alta presión, iniciándose la combustión de la mezcla, con aporte de calor a volumen constante, de B a C. Es una transformación isócora hasta el punto E.
– **Expansión (C–E).** Desde el punto C hasta el D se produce el desplazamiento del pistón a presión constante, pues aunque el volumen aumenta también lo hace la temperatura, pues la inyección no termina en el PMS, y por tanto, la presión se mantiene desde el punto C hasta el D. Después, la presión va descendiendo progresivamente al aumentar el volumen, en teoría, sin pérdida de calor.
– **Escape espontáneo (E–A).** Los gases quemados salen al exterior en el momento que la válvula de escape comienza su apertura, ya que la presión en el interior de la cámara es superior a la atmosférica, teóricamente, a volumen constante.
– **Escape (A–F).** Con el desplazamiento del pistón hacia el PMS tiene lugar el barrido del resto de los gases quemados. En teoría, esta carrera se produce en su totalidad a la presión atmosférica.

El trabajo efectivo se puede observar en la figura 5.8 mediante la superficie representada dentro de los vértices A–B–C–D–E.

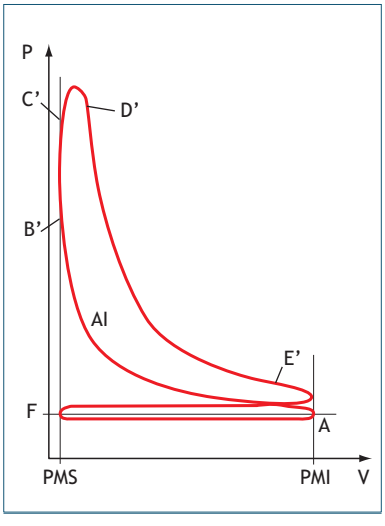



**5.8.** Diagrama teórico de trabajo.

### 2.2 > Diagrama real de trabajo

En el ciclo diésel real, representado en la figura 5.9, la sucesión de las fases es la siguiente:

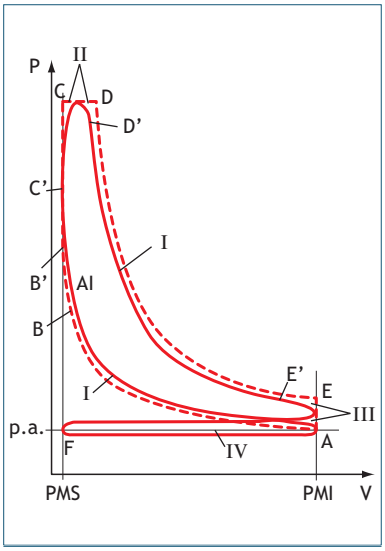
– **Admisión (F–A).** La presión durante este tiempo no es constante y la válvula correspondiente se abre y cierra de forma progresiva, con lo cual el llenado del cilindro no es total.
– **Compresión del aire (A–B').** Si el llenado del cilindro no es del 100% se parte de una presión inferior a la teórica, por lo que la presión final será




**5.9.** Diagrama real de trabajo.

menor a la teórica. Parte del calor es expulsado por las paredes y cierta energía se consume con el desplazamiento del pistón del PMI al PMS.

– **Inyección.** El inyector comienza a inyectar la mezcla unos grados antes del PMS (AI). La combustión no se realiza de forma instantánea, pues la mezcla necesita un tiempo para quemarse; de esta forma, la combustión no se produce a volumen y presión constantes, durante un trayecto tan amplio.
– **Expansión del fluido (C'–E').** El trabajo que se produce en este caso es menor, ya que se parte de una presión inferior y esto hace que la fuerza de empuje sobre el pistón sea inferior a la teórica. Además, hay una cesión de calor a las paredes del cilindro.
– **Apertura del escape. en E', anticipado con respecto al PMI.** En este caso, la presión no baja de forma instantánea, pues los gases necesitan un tiempo para salir al exterior.
– **Expulsión de los gases quemados (A–F).** Este tiempo no se produce a presión constante, ya que las válvulas se abren y cierran progresivamente.




**5.10.** Diferencias entre el diagrama real y el teórico.

## 2.3 > Rendimiento

Si se compara el diagrama real con el teórico se puede comprobar que el rendimiento real es inferior al teórico. El resultado es un trabajo útil menor, determinado por la superficie representada en la figura 5.10.

Las diferencias entre el ciclo teórico y el real se deben esencialmente a las siguientes causas:

– Pérdidas de energía en el circuito de refrigeración a través de las paredes. Este proceso es necesario para mantener la temperatura dentro de unos límites (superficies I).
– Necesidad de anticipar la inyección con respecto al PMS. La combustión no es instantánea por lo que el combustible necesita un pequeño tiempo para mezclarse con el aire y arder (superficie II).
– Avance de apertura del escape, ligado a la inercia de las válvulas y de las masas de los gases (superficie III).
– Pérdidas de trabajo por bombeo durante la carrera de escape y de admisión (superficie IV).

## Actividades propuestas

**2··** Según el diagrama teórico de trabajo del motor diésel:

- ¿Se produce algún tiempo según una transformación adiabática? En caso afirmativo, indica cuál o cuáles.
- Parte del ciclo se produce a volumen constante. Indica a qué tiempo le corresponde y qué nombre recibe este tipo de transformación.

**3··** ¿La inyección de combustible se produce de igual forma según el ciclo teórico que el ciclo práctico? Si la respuesta es no, indica las diferencias.

**4··** ¿Afectan de alguna manera las pérdidas de calor a través del circuito de refrigeración a la superficie que compone el diagrama de trabajo? Indica cómo.

## Actividades finales

**1··** Responde a las siguientes preguntas sobre el motor diésel de cuatro tiempos:

a) ¿Cuántas carreras se producen en un ciclo completo? ¿En qué orden se producen los diferentes tiempos?
b) ¿En qué tiempos el pistón se desplaza desde el PMS al PMI?
c) ¿En qué tiempos está abierta cada válvula?
d) ¿En qué tiempo se genera energía? ¿Cómo se produce?
e) ¿Cuántos grados de giro del cigüeñal corresponden a cada tiempo según el ciclo teórico?
f) ¿En qué se diferencia el tiempo de escape del ciclo teórico respecto al práctico o real?
g) Durante el cruce de válvulas, ¿es posible expulsar combustible procedente de la admisión al exterior por la válvula de escape? ¿Por qué?
h) ¿Cómo se produce el tiempo de admisión en el ciclo práctico?

**2··** Un motor de cuatro tiempos tiene las siguientes cotas de distribución:

- AAA: 35º
- RCA: 50º
- AAE: 40º
- RCE: 30º

Dibuja el diagrama de la distribución de este motor, y determina los ángulos de apertura y cierre de las válvulas así como el cruce de las mimas.

**3··** ¿Cuáles son las diferentes fases que se producen en el tiempo de trabajo?

**4··** Dibuja el diagrama teórico de trabajo de un motor diésel, e indica cómo se producen las diferentes transformaciones en cada tiempo. Especifica las diferencias respecto al diagrama teórico correspondiente al motor otto.

**5··** Enumera las diferencias que existen entre los motores otto y diésel respecto a:

- Los elementos estructurales.
- El encendido de la mezcla.
- La relación de compresión.
- El consumo de combustible.

**6··** ¿Es posible que el cruce de válvulas sea mayor en los motores diésel que en los motores otto? Razona la respuesta.

**7··** Hay dos pistones en el aula taller, uno tiene la cabeza plana y en la cabeza del otro está mecanizada la cámara de compresión. ¿Sabrías decir a qué tipo de motor corresponde cada uno?

**8··** Si en una culata solo puedes ver el plano inferior (parte de contacto con el bloque), ¿cómo sabrías si corresponde a un motor otto o diésel?

## Caso final

### Análisis de las características de un motor de cuatro tiempos

•• Dispones de un motor diésel en línea de cuatro cilindros y cuatro tiempos. Haz un análisis respecto a otro de gasolina para observar las diferencias respecto a:

a) Los principales elementos auxiliares.
b) Forma de producirse los tiempos según el ciclo teórico.
c) Ciclo de trabajo.

### Solución ••

a) En cuanto a los elementos auxiliares diferentes que distinguen un motor otto de otro diésel será necesario fijarse en el sistema de alimentación y en el sistema de encendido.

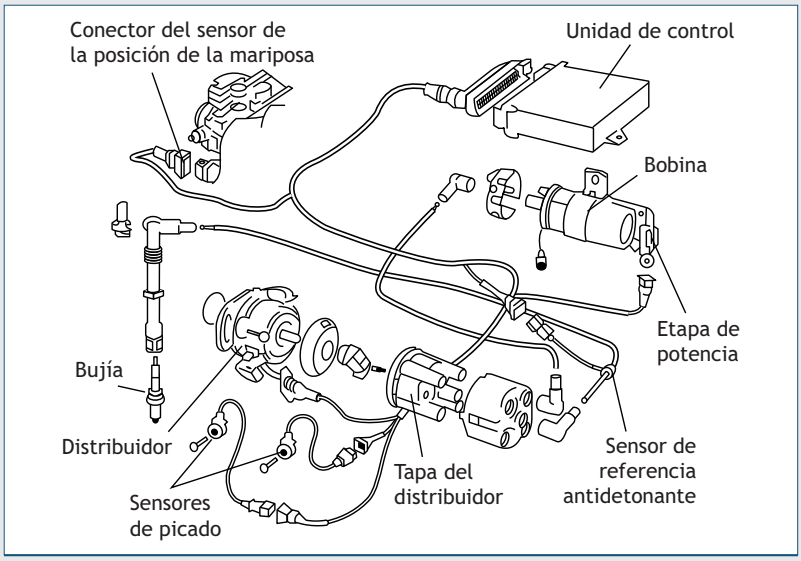
El motor diésel carece de sistemas auxiliares de encendido, así como de bujías para producir la chispa eléctrica, sistema que es alimentado por electricidad a alta tensión, mediante un distribuidor de encendido, una bobina y una batería de acumuladores.

Nada de esto es preciso en un motor diésel, porque el combustible se inflama simplemente al ponerse en contacto con el aire muy caliente que ha sido intensamente comprimido en el cilindro.

De esta forma un motor otto lo distinguirás por:

- Si el motor es antiguo, por el distribuidor de encendido, las bujías, los cables de alta y la bobina; como el representado en la figura 5.11.
- En motores más modernos te encontrarás una serie de elementos como los representados en la figura 5.12.
- En los motores diésel, todos estos elementos no aparecen, y el sistema de alimentación tiene formas como las representadas en las figuras 5.13 y 5.14.

**5.11.** Motor otto con encendido convencional.




**5.12.** Sistema de encendido electrónico integral.

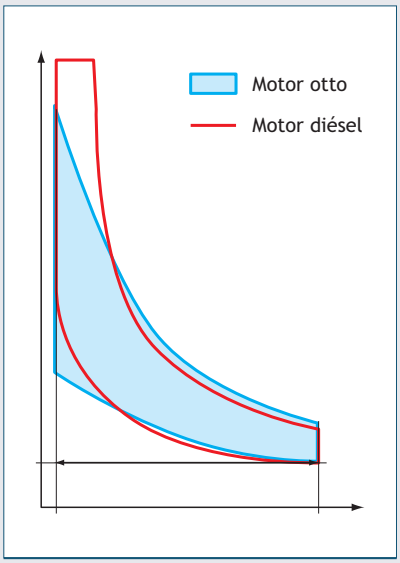
b) Referente a los diferentes tiempos, según el ciclo teórico, las diferencias son:

- Admisión. Durante este tiempo, en el motor otto, entra al cilindro una mezcla de aire y combustible. En el motor diésel solamente se introduce aire en el cilindro.
- Compresión. Como en el caso del motor diésel, cuando se realiza este tiempo, en el cilindro solamente existe aire. Las cámaras de compresión en este tipo de motor son más pequeñas, consiguiendo de esta forma una presión superior que en los motores otto.
- Trabajo. En el motor de gasolina se produce una explosión provocada por una chispa eléctrica generada en la bujía, quemándose de esta forma la mezcla. En el motor diésel se produce la inyección de combustible a una presión alta, que al entrar en contacto con el aire, el cual está sometido a una elevada temperatura, provoca el comienzo de la combustión.
- Escape. Durante este tiempo no existen diferencias significativas.

**5.13.** Sistema de inyección diésel.

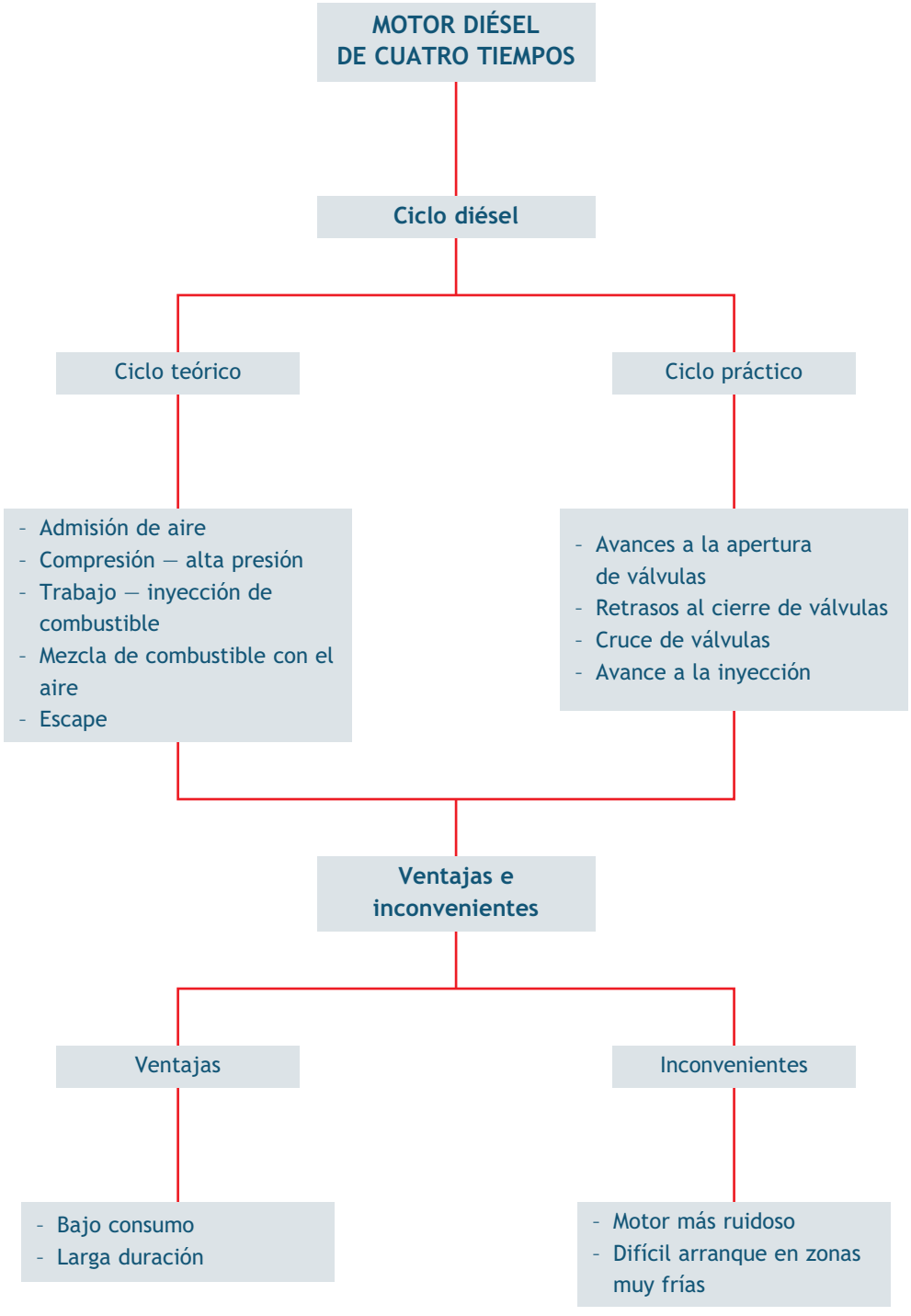
c) Referente al ciclo de trabajo, la principal diferencia se encuentra, como puedes observar en la figura 5.15, en que el rendimiento en los motores diésel es mayor al producirse parte de la combustión a presión constante; esto, sin embargo, en el motor otto no ocurre.

**5.14.** Sistema *common-rail*.




**5.15.** Ciclo de trabajo motores otto y diésel.

## Ideas clave


MOTOR DIÉSEL DE CUATRO TIEMPOS
Ciclo diésel
Ciclo teórico
Ciclo práctico
- Admisión de aire
- Compresión — alta presión
- Trabajo — inyección de combustible
- Mezcla de combustible con el aire
- Escape
- Avances a la apertura de válvulas
- Retrasos al cierre de válvulas
- Cruce de válvulas
- Avance a la inyección
Ventajas e inconvenientes
Ventajas
Inconvenientes
- Bajo consumo
- Larga duración
- Motor más ruidoso
- Difícil arranque en zonas muy frías

# COMBINACIÓN DE MOTORES OTTO Y DIÉSEL

El motor HCCI es una combinación de los actuales motores de gasolina y diésel. En él, la mezcla de aire y combustible se realiza fuera de la cámara de combustión, como en los motores de gasolina. Pero no se enciende por una chispa, sino que se autoinflama por compresión, como en los motores de ciclo diésel. Su rendimiento en carga media es mucho mayor que el de un motor de gasolina, y su emisión de $NO_x$ y partículas de hollín, mucho menor que en el diésel.

HCCI es el acrónimo en inglés de «Carga Homogénea Encendido por Compresión». Esta denominación implica que la carga de aire y combustible, mezclada homogéneamente, es inflamada por el calor de la compresión. Otro nombre que reciben estos motores es ATAC (Combustión por Atmósfera Térmica Activa), pero suele emplearse para motores de dos tiempos. Existen otras denominaciones: ARC (Combustión por Radicales Activos, Honda), Combustión TS (Toyota Soken), pero están menos extendidas.

Las numerosas investigaciones en marcha indican que el motor HCCI tiene un futuro claro como paso siguiente en el desarrollo de los motores de combustión interna alternativos. El principal escollo a salvar para que estos motores puedan comenzar a verse en los salones del automóvil es controlar con precisión el momento de encendido.

En cualquier caso, las posibilidades de desarrollo del motor HCCI son mayores que las de muchos tipos de motores actuales. Por ejemplo, los motores gasolina de dos tiempos y de cilindrada superior a 100 $cm^3$ (apropiados para la mayoría de las motocicletas) no pueden cumplir con las especificaciones de anticontaminación en EEUU, por lo que no se comercializan en este país.

En estos motores la mezcla de aire y combustible se realiza fuera de la cámara de combustión, con baja presión y de forma homogénea. Es decir, la mezcla se hace en el mismo lugar que en un motor de gasolina de inyección indirecta y mezcla estequiométrica. En cambio, la mezcla que aspira el motor HCCI es muy pobre en combustible.

Posteriormente, dicha mezcla entra en la cámara y es comprimida hasta que se autoinflama en combustión espontánea, cuando el pistón está próximo al punto muerto superior (como en los motores diésel). Pero en los motores HCCI el encendido no ocurre en un punto localizado, como en el diésel, sino casi simultáneamente en toda la cámara. Por tanto, no hay una propagación por frente de llama, ni estratificación de la mezcla.

Como en un diésel, no hay una válvula de mariposa para variar la carga; el flujo de aire siempre será el máximo. La carga se controla variando la cantidad de combustible.

Es preciso emplear una relación de compresión elevada para prender una mezcla muy pobre, en torno al límite de inflamabilidad (l : 1,2). Los diversos motores experimentales han trabajado con unas relaciones de compresión que varían entre 20:1 hasta 30:1.

En carga media y baja, el autoencendido de la mezcla no suele provocar detonaciones destructivas. La mezcla —pobre y homogénea— mantiene la temperatura máxima de los gases quemados, relativamente baja y uniforme en toda la cámara. Sin embargo, a plena carga, la temperatura es mayor y la mezcla más rica, por lo que pueden aparecer combustiones detonantes.

Según los experimentos realizados, los combustibles más apropiados para este tipo de combustión son: gasolina, gas natural, biogás y etanol. Pero también se han empleado otros: un mismo motor podría emplear más de uno de estos combustibles.

**Motor HCCI (30-03-2001)**
**Pablo Fernández**

unidad 6

# Características de los motores

## SUMARIO

- Cilindrada
- Relación de compresión
- Par motor y potencia
- Consumo específico
- Rendimiento
- Curvas características
- Elasticidad
- Disposición de los cilindros

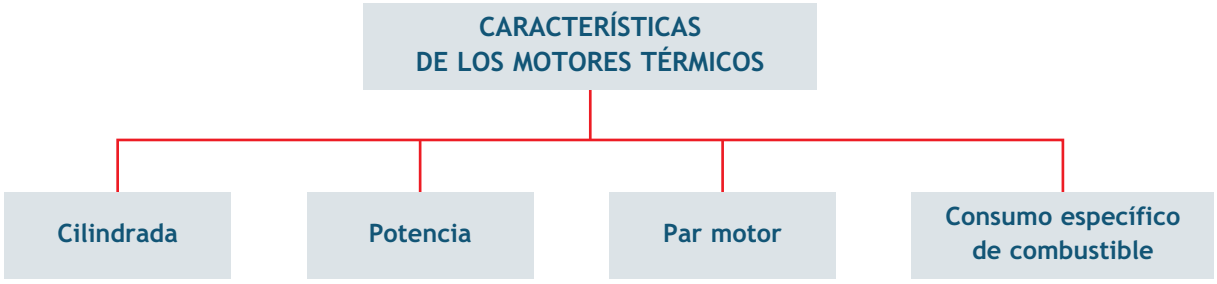
## OBJETIVOS

- Identificar las características constructivas de los distintos tipos de motores.
- Analizar las causas que influyen sobre las diferentes características.
- Utilizar los conceptos físicos para entender el funcionamiento del motor.
- Interpretar las curvas características que pertenecen a cada motor.

# 1 >> Características de los motores térmicos

**El motor térmico es una máquina que transforma la energía calorífica en energía mecánica.**

El motor de gasolina, el motor diésel y la máquina de vapor son ejemplos de motores térmicos. Los motores térmicos tienen unas características que los diferencian unos de otros. Se pueden resaltar las siguientes:




## 1.1 > Cilindrada

**Los cilindros son los huecos mecanizados de forma cilíndrica, situados en el bloque motor. El número y el volumen de cilindros es diferente en cada motor. Sus características principales son:**

- **La carrera. Es la distancia que recorre el pistón desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI).**
- **El volumen unitario. Es el volumen de un cilindro.**
- **El volumen total del motor. Es el producto del volumen unitario por el número de cilindros.**

La cilindrada total de un motor térmico se calcula a partir de la cilindrada de cada uno de sus cilindros. La cilindrada unitaria ($V_u$) es el volumen de un solo cilindro:

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L, \text{ donde L: carrera}$$
$$\text{d: diámetro o calibre}$$

Una vez calculada la cilindrada unitaria, se calcula la cilindrada total ($V_t$) del motor. Para ello, se multiplica el volumen de un cilindro por el número de cilindros:

$$V_t = V_u \cdot N, \text{ donde N: número de cilindros}$$

Las herramientas utilizadas para medir los cilindros son las siguientes:

- La sonda de un calibre, que se usa para medir la carrera.
- Las orejetas de un calibre, utilizadas para medir el diámetro de forma aproximada.
- Un micrómetro de interiores o un alexómetro, y un micrómetro de exteriores para medir el diámetro de forma exacta.

Estas medidas se realizan en milímetros (mm), aunque para el volumen se emplea el centímetro cúbico ($cm^3$) o el litro (l).

### Volumen de un cuerpo cilíndrico

El volumen de un cilindro se calcula multiplicando la constante $\pi$ por el radio de la base (r) al cuadrado y por la altura del cilindro (h). Esto es:

$$V = S \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Sabiendo que el radio equivale a la mitad del diámetro:

$$r = \frac{d}{2}$$

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h$$

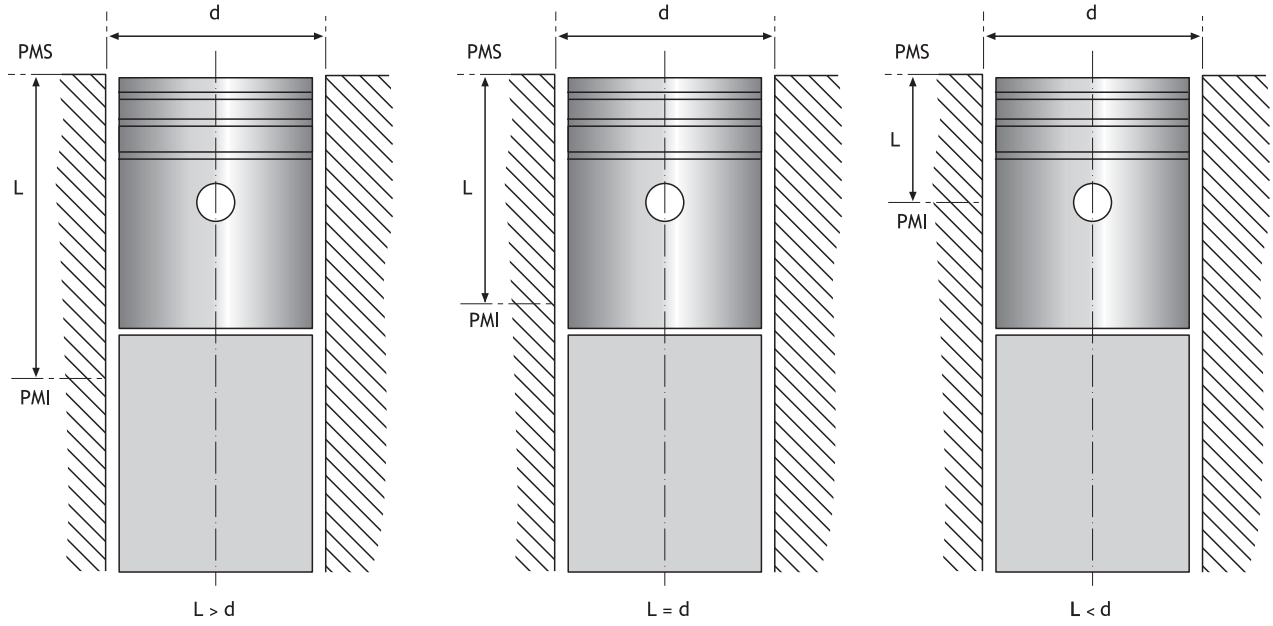
### Equivalencias entre medidas de capacidad

Las principales equivalencias son:

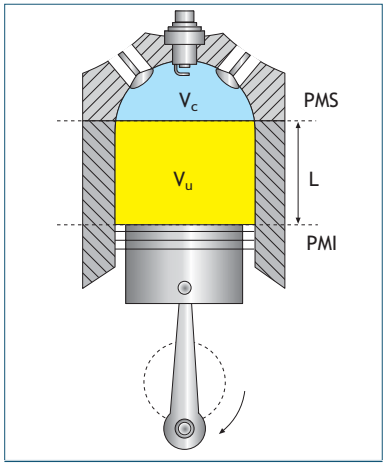
$1\ dm^3 = 1\ 000\ cm^3$
1 $dm^3$ = 1 litro
1 litro = 1 000 $cm^3$

Los motores, dependiendo de la carrera y del diámetro de sus cilindros (figura 6.1), pueden ser:

– **Motores alargados**. En estos motores la carrera es mayor que el diámetro. Estos motores no alcanzan revoluciones demasiado altas. En la actualidad son más usados para motores diésel que para motores de gasolina.
– **Motores cuadrados.** La carrera y el diámetro tienen la misma longitud, es decir, la relación entre la carrera y el diámetro es 1. Las revoluciones alcanzadas por este tipo de motores son mayores que en los alargados.
– **Motores supercuadrados.** El diámetro del cilindro es mayor que la carrera. Se pueden alcanzar revoluciones muy altas. Son utilizados para vehículos de gasolina muy revolucionados.




**6.1.** Tipos de motores en función de la carrera y el diámetro de sus cilindros.




**6.2.** Relación de compresión.

## 1.2 > Relación de compresión

**La relación de compresión es un número que indica el número de veces que es mayor el volumen que ocupa la mezcla al final de la admisión (pistón en PMI), respecto al volumen al final de la compresión (pistón en PMS).**

Esta definición se resume en la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$, donde $R_c$: relación de compresión
$V_u$: volumen unitario
$V_c$: volumen de la cámara de compresión

Si aumenta el volumen del cilindro, la relación de compresión aumenta, pero si aumenta el volumen de la cámara de compresión, la relación de compresión disminuye.

## Casos prácticos

### Cálculo de la cilindrada y relación de compresión en motores de 4 cilindros

•• Calcula el volumen unitario, la cilindrada y la relación de compresión para los siguientes motores cuyo volumen de la cámara es 49 $cm^3$:

a) Un motor de 4 cilindros alargado con una carrera de 72 mm y un calibre de 70 mm.
b) Un motor de 4 cilindros cuadrado con un diámetro de 78,16 mm.

**Solución** •• Antes de comenzar a resolver el caso práctico, conviene transformar los datos en mm a cm:

a) Los datos aportados por el enunciado son:

$$N = 4;\ V_c = 49\ cm^3;\ L = 72\ mm = 7{,}2\ cm;\ d = 70\ mm = 7\ cm$$

Se trata de averiguar el valor de $V_u$, $V_t$ y $R_c$.

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L;\ V_u = \frac{\pi \cdot (7\ cm)^2}{4} \cdot 7{,}2\ cm = \frac{\pi \cdot 49\ cm^2}{4} \cdot 7{,}2\ cm = 277{,}088\ cm^3$$

$$V_t = V_u \cdot N;\ V_t = 277{,}088\ cm^3 \cdot 4 = 1\ 108{,}35\ cm^3$$

El volumen de un cilindro es 277,088 $cm^3$ y la cilindrada del motor es 1 100 $cm^3$ o 1,1 litros. Por tanto:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c};\ R_c = \frac{277{,}080\ cm^3 + 49\ cm^3}{49\ cm^3} = 6{,}65/1$$

b) Los datos que aporta el enunciado son los siguientes:

$$N = 4;\ V_c = 49\ cm^3;\ d = 78{,}16\ mm = 7{,}816\ cm$$

Por tratarse de un motor cuadrado, la carrera coincide con el calibre, es decir, es igual a d.

Se trata de averiguar el valor de $V_u$, $V_t$ y $R_c$.

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L;\ V_u = \frac{\pi \cdot (7{,}816\ cm)^2}{4} \cdot 7{,}816\ cm = 375\ cm^3$$

$$V_t = V_u \cdot N;\ V_t = 375\ cm^3 \cdot 4 = 1\ 500\ cm^3$$

El volumen unitario es 375 $cm^3$ y la cilindrada 1 500 $cm^3$. Por tanto:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c};\ R_c = \frac{375\ cm^3 + 49\ cm^3}{49\ cm^3} = 8{,}65/1$$

Tal y como se puede observar en los resultados, en motores con el mismo volumen en la cámara de compresión, tiene mayor relación de compresión aquel que tenga mayor volumen unitario.

## 1.3 > Par motor

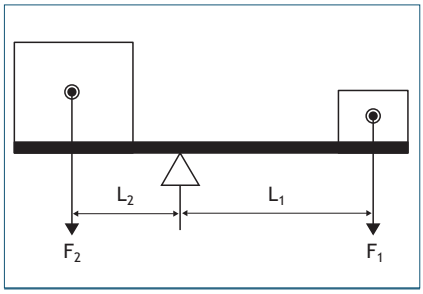
**El par motor (M) es el producto de la fuerza aplicada sobre un cuerpo para hacerle girar, por la distancia al punto de giro.**

La fórmula que resume la anterior definición, cuando F y r son perpendiculares, es:

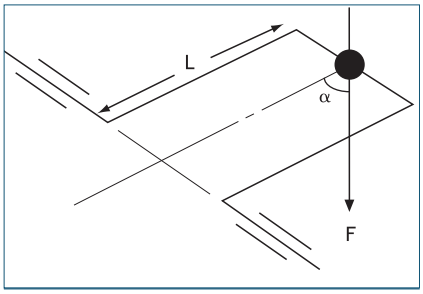
$M = F \cdot r$, donde F: fuerza
r: radio de giro

La unidad de la fuerza en el sistema internacional es el newton (N) y la del radio es el metro (m), por lo que la unidad de par es newton por metro (Nm).

El par generado en el motor es consecuencia de la longitud de la muñequilla del cigüeñal, y de la fuerza que recibe esta del pistón a través de la biela. La longitud de la muñequilla es constante, no así la fuerza recibida por el cigüeñal, que es distinta para cada número de revoluciones.




**6.3.** Equilibrio por igualdad de par.




**6.4.** Par motor aplicado al cigüeñal.

## Casos prácticos

### Cálculo del par motor

•• ¿Qué par desarrollará un motor si recibe una fuerza de 625 kg sobre la muñequilla del cigüeñal, y el radio de la muñequilla tiene una longitud de 40 mm?

**Solución** •• Los datos aportados por el enunciado son: F = 625 kg; r = 40 mm

Debes calcular el par motor M, teniendo en cuenta que antes tienes que pasar kg a N y los mm a m:

$$M = F \cdot r;\ M = 625\ kg \cdot 40\ mm = 625\ kg \cdot \frac{9{,}8\ N}{1\ kg} \cdot 40\ mm \cdot \frac{1\ m}{1\ 000\ mm} = 6\ 125\ N \cdot 0{,}04\ m = 245\ Nm$$

## Vocabulario

**Velocidad:** espacio recorrido por unidad de tiempo.

**Aceleración:** incremento de velocidad por unidad de tiempo.

**Fuerza:** causa capaz de deformar un cuerpo o de producirle una aceleración.

**Trabajo:** fuerza que aplicamos durante un determinado espacio.

## 1.4 > Potencia

**La potencia (P) es el trabajo desarrollado por unidad de tiempo. La potencia de un vehículo se desarrolla en el desplazamiento de la carga.**

$$P = \frac{T}{t}$$

Si en la fórmula de la potencia, se sustituye el trabajo por su valor y el espacio partido de tiempo (e/t) por velocidad (v) se obtiene que:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{F \cdot e}{t} = F \cdot v$$

Por tanto, cuanto mayor es la velocidad para realizar un trabajo, mayor es la potencia conseguida.

La unidad de potencia en el sistema internacional es el vatio (W), pero en el mundo de la automoción es más usual utilizar el kilovatio (kW) o el caballo de vapor (CV).

La potencia en el motor se obtiene multiplicando el par motor por la velocidad angular (n) que puede venir dada en revoluciones por minuto (rpm) o en radianes por segundo (rad/s):

$$P = M \cdot n$$

La velocidad angular, que normalmente viene dada en revoluciones por minuto, se debe pasar a radianes por segundo para obtener el resultado en vatios. Sabiendo que una revolución es igual a $2\pi$ radianes y un minuto a 60 segundos, la equivalencia entre rpm y radianes por segundo es:

$$1 \text{ rpm} = 1 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2\ \pi \text{ radianes}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = \frac{1 \text{ radian}}{9{,}55 \text{ segundos}}$$

Por tanto, si la velocidad angular (n) viene dada en rpm se divide por la constante 9,55 para obtenerla en radianes por segundo.

$$P = \frac{M \cdot n}{9{,}55}$$

donde P: potencia (W)
M: par (N · m)
n: velocidad (rpm)

Si a la potencia efectiva máxima, que normalmente aparece en las características técnicas, la dividimos entre la cilindrada, tenemos la **potencia específica** respecto del volumen. Se mide en kW/l. Cuanto mayor es este valor mejor es el rendimiento del motor.

En la siguiente tabla se resumen las magnitudes de esta unidad didáctica:

| Magnitud | Símbolo | Fórmula | Unidades |
|---|---|---|---|
| Tiempo | t | | segundo (s) |
| Espacio | e | | metro (m) |
| Masa | m | | kilogramo (kg) |
| Velocidad | v | v = e/t | m/s |
| Aceleración | a | a = v/t | $m/s^2$ |
| Fuerza | F | F = m · a | Newton (N) |
| Trabajo | T | T = F · e | Julio (J) |
| Potencia | P | P = T/t | Vatio (W) |

### Equivalencias entre unidades de potencia

1 CV = 0,736 kW
1 kW = 1,36 CV

### Relación entre potencia y cilindrada

No siempre es necesario aumentar la cilindrada para conseguir una potencia mayor. Con motores de cilindradas iguales se consiguen potencias y pares diferentes.

## Casos prácticos

### Cálculo de la potencia de un motor

•• Calcula la potencia de un motor si a 4 000 rpm desarrolla un par motor de 25 kgm. Expresa el resultado en vatios, kilovatios y caballos de vapor.

**Solución** •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

n = 4 000 rpm
$M = 25 \text{ kgm} = 25 \text{ kg} \cdot \frac{9{,}8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \cdot 1 \text{ m} = 245 \text{ Nm}$

Se trata de calcular la potencia P. Como la velocidad angular viene dada en rpm, tienes que dividir por la constante 9,55 para obtener el resultado en vatios.

»

$$P = \frac{M \cdot n}{9{,}55}$$

$$P = \frac{245 \text{ Nm} \cdot 4\,000 \text{ rpm}}{9{,}55} = 102\,617{,}8 \text{ W}$$

El resultado en kilowatios es:

$$P = 102\,617{,}8 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} = 102{,}617 \text{ kW}$$

Por último se multiplica por 1,36 para obtener la potencia en caballos de vapor.

$$P = 102{,}617 \text{ kW} \cdot \frac{1{,}36 \text{ CV}}{1 \text{ kW}} = 139{,}56 \text{ CV}$$

## Casos prácticos

### Cálculo de la potencia de un motor

•• Calcula la potencia de un motor trabajando a 4 000 rpm y un par de 200 Nm.

**Solución** •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

n = 4 000 rpm; M = 200 Nm

Se trata de calcular P.

$$P = M \cdot n$$

$$P = 200 \text{ Nm} \cdot 4\,000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\,\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} = 83 \text{ kW}$$

Sabiendo que 1 CV equivale a 736 W o 0,736 kW, se tiene que:

$$P = 83 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{0{,}736 \text{ kW}} = 112{,}77 \text{ CV}$$

## 1.5 > Consumo específico

**El consumo específico de combustible es la cantidad de combustible consumida por unidad de potencia generada y tiempo de funcionamiento. Se mide en g/kWh.**

El consumo específico suele oscilar entre los valores siguientes:

– En motores de gasolina: de 220 g/kWh a 340 g/kWh.
– En motores diésel: de 150 g/kWh a 250 g/kWh.

## Casos prácticos

### Equivalencia entre unidades del consumo específico

•• Un motor tiene un consumo específico de 220 g/CVh a 2 000 rpm. ¿Cuál es el consumo en g/kWh?

**Solución ··** Para resolver el caso es necesario hacer un cambio de unidades para el consumo específico:

$$220\ \frac{g}{CVh} \cdot \frac{1\ CV}{0{,}736\ kW} = 298{,}91\ \frac{g}{kWh}$$

## 1.6 > Rendimiento

**El rendimiento de un motor es el resultado de dividir la cantidad de calor aprovechada por el motor entre la generada por el mismo.**

Podemos hablar de dos tipos de rendimiento: térmico y volumétrico.

### Rendimiento térmico

Durante la combustión de la mezcla se genera una cantidad de calor. Parte de este calor se pierde a través del circuito de refrigeración, y otra parte importante se pierde por los conductos del escape.

El calor útil es el calor generado menos el calor perdido.

$Q_u = Q_t - Q_p$, donde $Q_t$: calor total generado
$Q_u$: calor útil aprovechado
$Q_p$: calor perdido

$\eta = \frac{Q_u}{Q_t}$, donde $\eta$: rendimiento

El rendimiento térmico medio en los motores actuales suele oscilar entre valores de un 30 a un 40% (figura 6.5).

### Rendimiento volumétrico

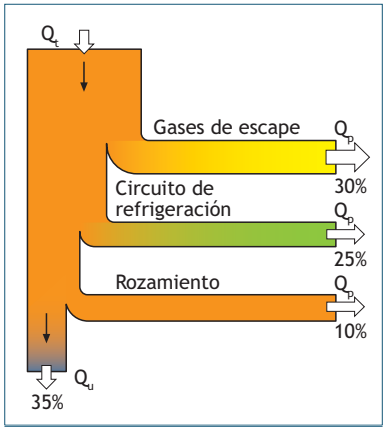
En teoría, la cantidad de fluido que entra en el cilindro debería ser igual al volumen teórico de los cilindros. Esto no ocurre en la mayoría de los casos, debido a:

– Las revoluciones no son constantes, con lo cual los tiempos de llenado para cada régimen son diferentes.
– La densidad de la mezcla depende de la temperatura y la humedad relativa.
– La válvula de admisión necesita un tiempo para abrirse.
– La válvula de escape necesita un tiempo para cerrarse, por lo que no todos los gases quemados salen al exterior.
– Los colectores de admisión tienen diferentes formas.

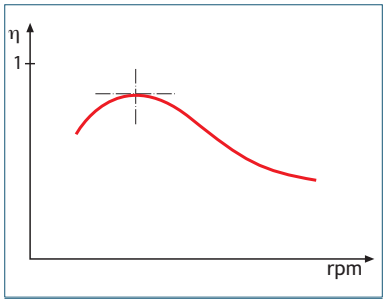
El rendimiento volumétrico no suele ser superior al 90% en motores atmosféricos, pero puede aumentar en los sobrealimentados (figura 6.6).

### Rendimiento en tanto por ciento

El rendimiento es un número menor o igual a uno. Normalmente el resultado se mide en porcentajes. Para ello el resultado se multiplica por 100 y se le añade el símbolo %.




**6.5.** Pérdidas térmicas.




**6.6.** Curva de rendimiento volumétrico.

## Actividades propuestas

**1··** Un motor consume una masa de combustible capaz de generar una cantidad de calor igual a 800 000 kJ. El trabajo aprovechado es igual a 260 000 kJ. Calcula:

- Cantidad de calor perdida.
- Rendimiento térmico en tanto por uno y en tanto por ciento.

## 1.7 > Curvas características

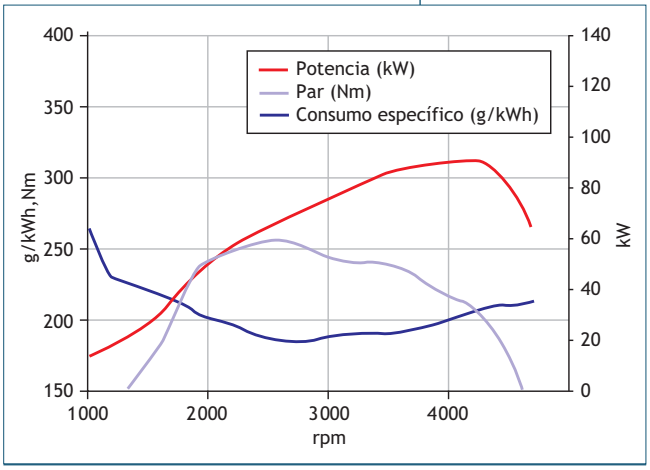
Las curvas características indican cómo varían las magnitudes físicas en función de las revoluciones del motor. Para representarlas se utilizan diagramas en los que se especifican las revoluciones en el eje de abcisas, y los diferentes parámetros, con sus unidades, en el eje de ordenadas (figura 6.7).

En este apartado se explican tres curvas características:

– Curva de par motor.
– Curva de potencia.
– Curva de consumo específico.

### Par motor máximo

El par motor que aparece en las características técnicas de los vehículos está referido al par máximo y se consigue a un número de revoluciones, siendo distinto para cada régimen.




**6.7.** Curvas características.

### Curva de par motor

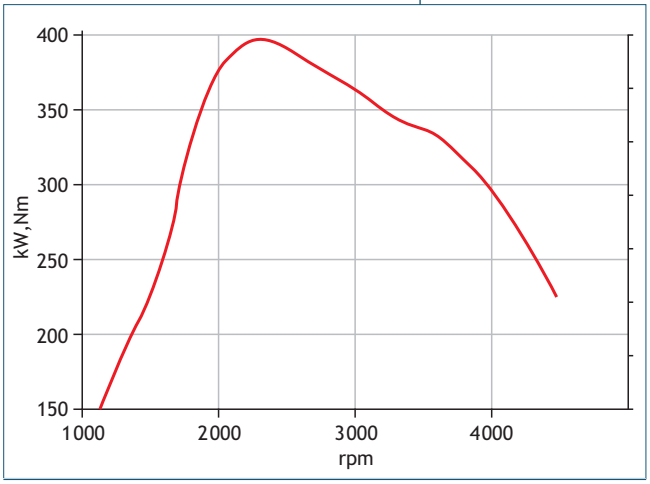
El valor del par motor no es constante ya que, a pesar de que el radio de la muñequilla del cigüeñal sea siempre el mismo, la fuerza que recibe el cigüeñal del pistón a través de la biela varía porque la presión que se genera en la cámara de compresión cambia por una serie de factores.

En la figura 6.8 podemos apreciar cómo aumenta el par motor hasta llegar a 2 200 revoluciones, y a partir de aquí empieza a descender.

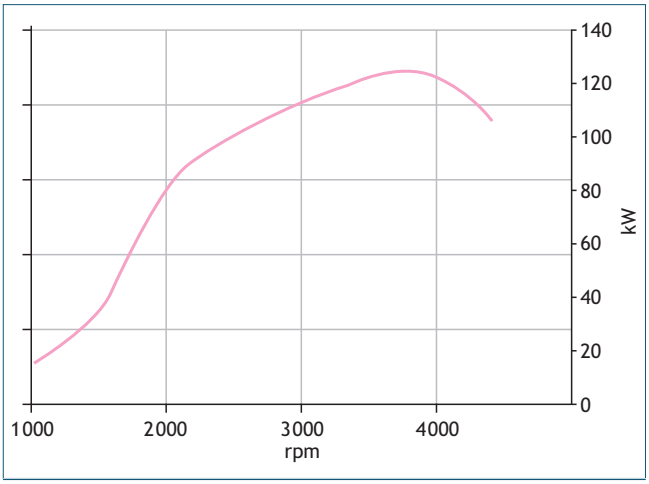
### Curva de potencia

La potencia es directamente proporcional al par y al número de revoluciones. El par aumenta con las revoluciones hasta un punto; por tanto, a medida que aumentan las revoluciones y el par, la potencia sube rápidamente.

A partir de que el par empieza a disminuir, la potencia sigue subiendo, aunque más lentamente, hasta que la proporción del aumento de revoluciones es menor que la disminución del par. Este es el punto de máxima potencia. En el caso particular que describe la figura 6.9, la máxima potencia se consigue a 3 900 revoluciones por minuto.




**6.8.** Curva de par motor.



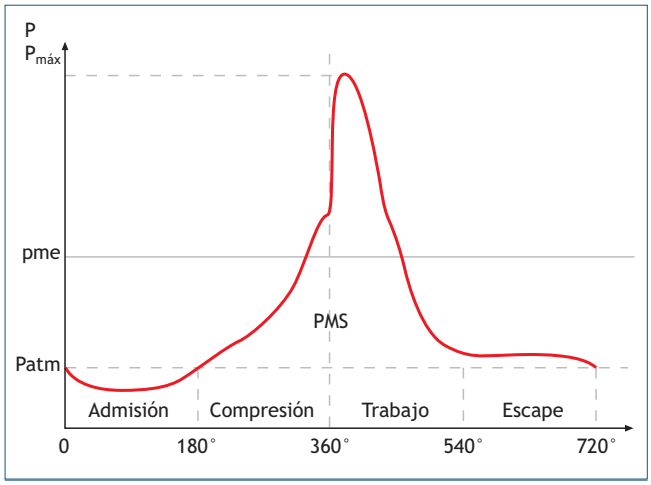

**6.9.** Curva de potencia.

La potencia y el par motor están afectados directamente por la **presión media efectiva**, siendo esta un parámetro fundamental para valorar las prestaciones del motor. De hecho, si se multiplica por el área del pistón, se obtiene la fuerza media que cada pistón desarrolla en la manivela del cigüeñal.

$$P = \frac{F}{S}, \text{ de donde } F = P \cdot S = pme \cdot S$$

donde P: presión
F: fuerza
S: superficie
pme: presión media efectiva en $N/m^2$

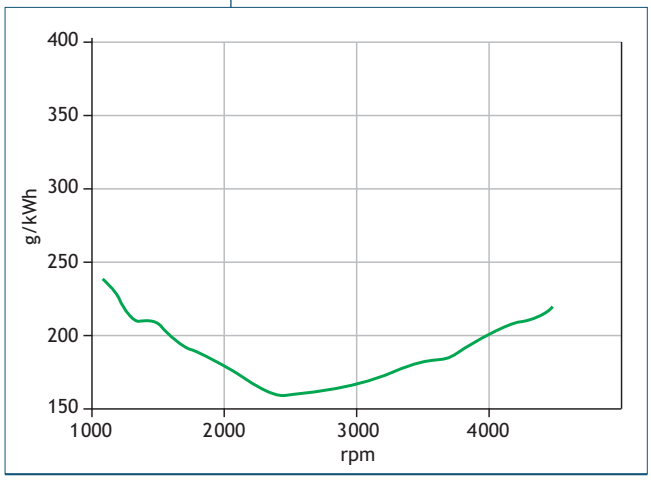
La presión media efectiva se calcula hallando la media de las presiones en cada ciclo de trabajo. La presión media efectiva está más cerca de la presión mínima que de la máxima, ya que el tiempo que se mantiene esta última es muy inferior (figura 6.10).




**6.10.** Presión media efectiva.

### Curva de consumo específico

Como se puede ver en la figura 6.11 el consumo específico en principio va disminuyendo con las revoluciones hasta un punto próximo al máximo par. A partir de ahí, el consumo específico aumenta a medida que se incrementan las revoluciones.




**6.11.** Curva de consumo específico.

## 1.8 > Elasticidad

> **La elasticidad de un motor es la capacidad de respuesta de este ante las diferentes condiciones de funcionamiento.**

Por ejemplo, si se circula por un terreno que tiene una superficie plana y de repente se toma una pendiente, dependiendo del tipo de motor será necesario o no reducir de marcha. Cuanto mayor sea la elasticidad del motor mayor serán las posibilidades del vehículo de superar la pendiente sin reducir de marcha.

El coeficiente de elasticidad ($\eta_E$) es un número que relaciona el máximo par con el par desarrollado a la máxima potencia y las revoluciones a las que se consigue la máxima potencia respecto al máximo par.

| Tipos de elasticidad | | |
|---|---|---|
| Elasticidad respecto al par | Elasticidad respecto al régimen de giro | Coeficiente de elasticidad total |
| $\eta_n = \frac{M_{max}}{M_{P\ max}}$ | $\eta_n = \frac{n_{max\ P}}{n_{max\ M}}$ | $\eta_E = \eta_n \cdot \eta_n$ |

Cuanto mayor es el coeficiente de elasticidad mayor es la capacidad de respuesta del motor ante los diferentes cambios de carga.

### Unidades del coeficiente de elasticidad

El coeficiente de elasticidad, al igual que la relación de compresión, no tiene unidades. Se trata de un número.
La elasticidad media de un motor oscila entre 2 y 3.

## Casos prácticos

### Cálculo del coeficiente de elasticidad

•• Calcula el coeficiente de elasticidad correspondiente a un motor que tiene las siguientes características:

- Potencia: 103 kW a 4 000 rpm.
- Par motor: 347 Nm a 2 000 rpm.

**Solución** •• Los datos aportados por el enunciado son los siguientes:

103 kW = 103 000 W, por tanto, la potencia es 103 000 W a 4 000 rpm.
M = 347 Nm a 2 000 rpm

Se trata de calcular $\eta_E$.

Calcula primero la elasticidad respecto al par.

$$\eta_M = \frac{M_{max}}{M_{P\ max}}$$

Para ello tienes que calcular el par que le corresponde a la máxima potencia:

$$P = \frac{M \cdot n}{9{,}55} \quad \Rightarrow \quad M = \frac{P \cdot 9{,}55}{n}$$

$$M = \frac{103\ 000\ W \cdot 9{,}55}{4\ 000\ rpm} = 245{,}91\ Nm$$

Ahora ya puedes calcular los coeficientes de elasticidad:

$$\eta_M = \frac{M_{max}}{M_{P\ max}} \qquad \eta_n = \frac{n_{max\ P}}{n_{max\ M}}$$

$$\eta_M = \frac{347\ Nm}{245{,}91\ Nm} = 1{,}43 \quad \eta_n = \frac{4\ 000\ rpm}{2\ 000\ rpm} = 2$$

$$\eta_E = \eta_M \cdot \eta_n$$

$$\eta_E = 1{,}43 \cdot 2 = 2{,}86$$

## Actividades propuestas

**2**•• Calcula el coeficiente de elasticidad de un motor que genera una potencia de 110 CV a 3 900 rpm y desarrolla un par de 25 kgf m a 1 800 rpm.

**3**•• ¿Cuál de los siguientes motores tiene mayor elasticidad?

- A: 126 CV a 3 600 rpm y 300 Nm a 2 000 rpm
- B: 120 CV a 4 000 rpm y 270 Nm a 2 000 rpm

**4**•• En motores otto y diésel de la misma cilindrada, ¿a cuál le corresponde mayor par motor? ¿Y mayor potencia? Razona la respuesta.

## 2 >> Disposición y número de cilindros

La forma de colocar los cilindros en el bloque motor varía en función del espacio disponible. Cada vez existe menos hueco en la carrocería para colocar el motor, ya que la altura es menor para buscar formas aerodinámicas.

Dependiendo de la disposición y del número de cilindros se puede hacer la siguiente clasificación de los motores:

### 2.1 > Clasificación por la disposición de los cilindros

#### Motores de cilindros en línea

Estos motores son los más sencillos de fabricar y, por tanto, son más baratos que otros tipos de motores (figura 6.12).

Su principal inconveniente es que no son aconsejables en motores de más de cuatro cilindros pues el cigüeñal tendría una longitud demasiado grande y no habría suficiente espacio para colocar el motor transversal. Este inconveniente se ha solucionado inclinando el motor ligeramente.

#### Motores de cilindros en V

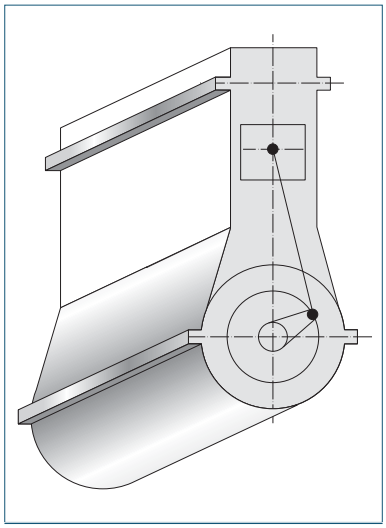
Esta disposición es utilizada en motores con más de cuatro cilindros. La mitad de los cilindros están colocados en paralelo con la otra mitad formando una V. De esta forma, no es necesario que el cigüeñal sea tan largo y es posible colocar el motor dentro de la carrocería de forma transversal (figura 6.13).

#### Motores de cilindros en W

Esta disposición de los cilindros es utilizada en motores con un número mayor de cilindros. En los motores con cilindros en W, los ejes de los cilindros están en tres semiplanos que se cortan en una recta que coincide, o es paralela, al eje del cigüeñal (figura 6.14).

#### Motores de cilindros horizontales opuestos

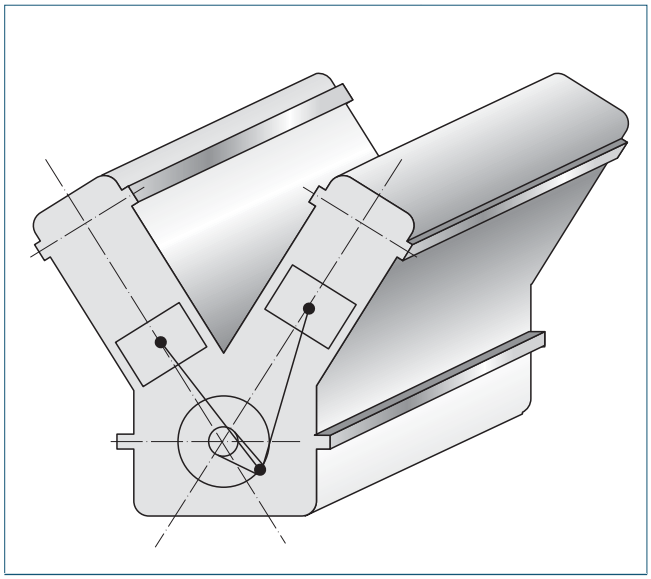
La disposición de los cilindros en este tipo de motores es horizontal. De esta manera se puede reducir la altura del motor (figura 6.15).



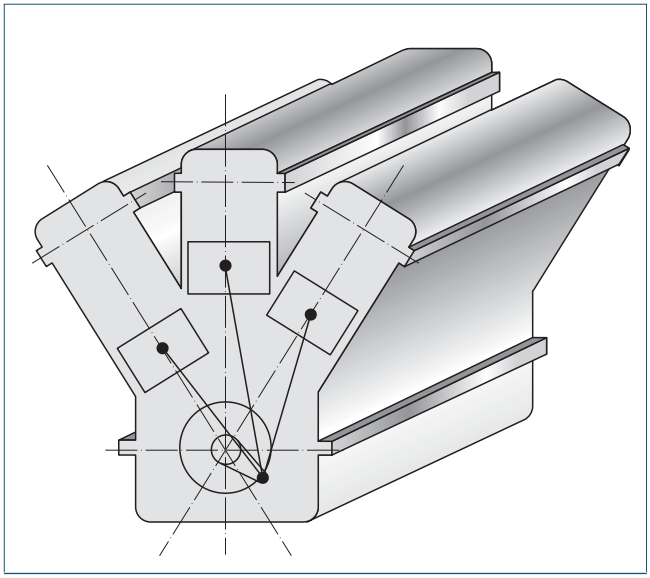
**6.12.** Motor de cilindros en línea.

**PMS en motores de cilindros horizontales opuestos**

En estos motores los pistones alcanzan el punto muerto superior cuando llevan la misma dirección pero sentido contrario.



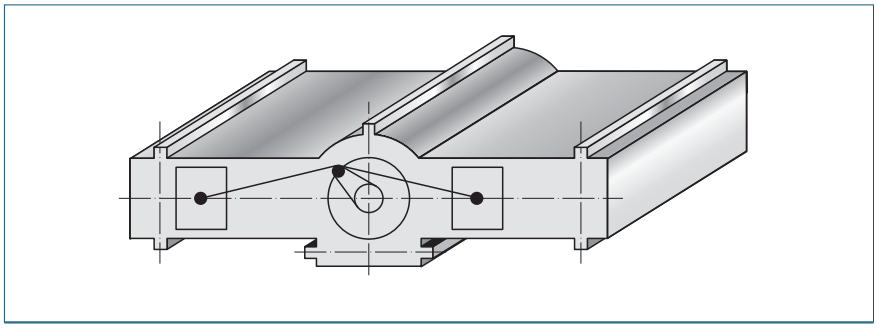
**6.13.** Motor de cilindros en V.



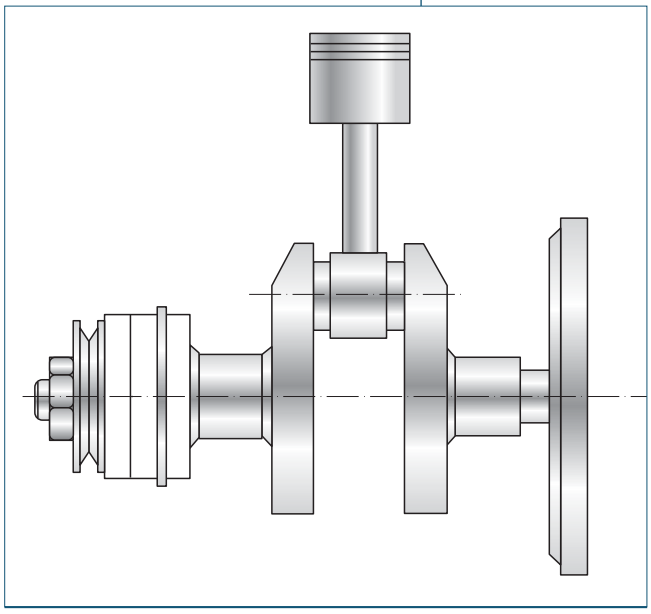
**6.14.** Motor de cilindros en W.

### Orden de encendido

El orden de encendido indica la secuencia según la cual se va produciendo un determinado tiempo en los diferentes cilindros. Los cuatro tiempos llevan el mismo orden.



**6.15.** Motor de cilindros horizontales opuestos.



**6.16.** Tren alternativo de un motor de un cilindro.

## 2.2 > Clasificación por el número de cilindros

Otra posible clasificación de los motores es a partir del número de cilindros. De esta forma los motores pueden ser de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e incluso más cilindros, siendo los citados anteriormente los más utilizados en el mundo del automóvil.

Para entender el funcionamiento de estos motores es necesario saber dos datos fundamentales:

– La numeración de los cilindros.
– El orden de encendido.

### Motor de 1 cilindro

En este tipo de motores el funcionamiento a bajas revoluciones es bastante irregular ya que el tiempo de trabajo se produce una vez cada dos vueltas.

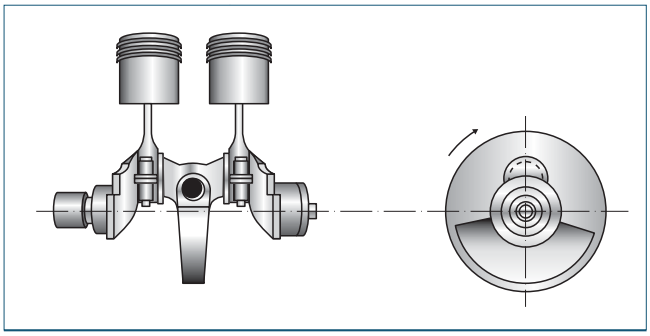
Cuando el motor cuenta con un solo cilindro, no hace falta numerarlo (figura 6.16).

### Motor de 2 cilindros

En estos motores, los cilindros están normalmente colocados en línea, aunque también se pueden encontrar opuestos horizontalmente (figura 6.17).

Con cada vuelta del cigüeñal se produce trabajo, es decir, cada 360° o resultado de dividir los 720° correspondientes a las dos vueltas que realiza el cigüeñal entre los dos cilindros.

En el siguiente cuadro se representan los tiempos de cada cilindro, respecto al punto muerto del cigüeñal.



**6.17.** Tren alternativo de un motor de 2 cilindros en línea.

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | C | T | E | |
| 2 | T | E | A | C | |

El orden de encendido de los cilindros en estos motores es 1 – 2. Los pistones llegan al punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI) al mismo tiempo. Cuando uno se encuentra en el tiempo de compresión, el otro está en el tiempo de escape; y cuando uno se encuentra en el tiempo de admisión, el otro está en el tiempo de trabajo.

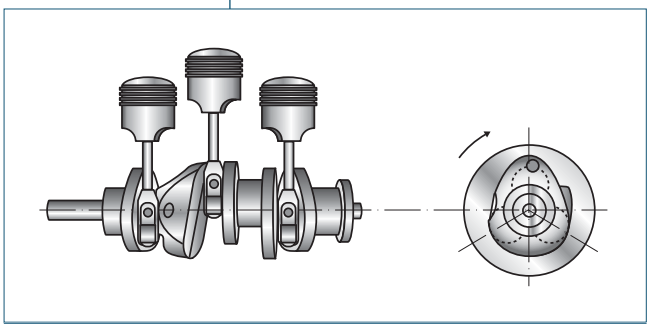
### Motor de 3 cilindros

Normalmente en estos motores los cilindros van colocados en línea. El cilindro número uno suele coincidir con la parte de la distribución (figura 6.18).

En este caso, la muñequilla del cigüeñal entre cilindros tiene un desfase de 120° o, lo que es lo mismo, el intervalo de encendido es de 240°.

Se produce un tiempo de trabajo cada 240°, de esta forma cada 60° de giro deja de producirse uno de los tiempos, ya que disponemos de menos cilindros que tiempos.

En el siguiente cuadro se muestra cómo se producen los tiempos en cada cilindro:



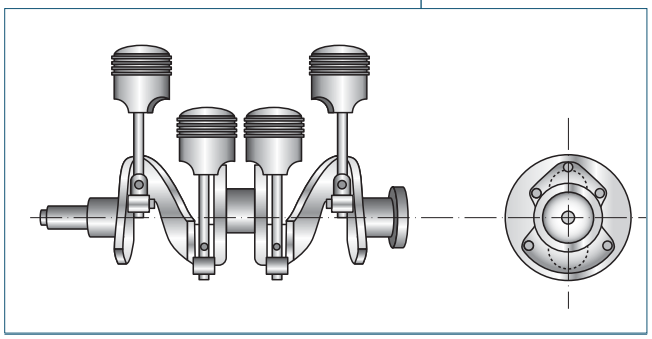
**6.18.** Tren alternativo de un motor de 3 cilindros en línea.

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E | A | C | |
| 2 | E | A | C | T | E |
| 3 | A | C | T | E | A |

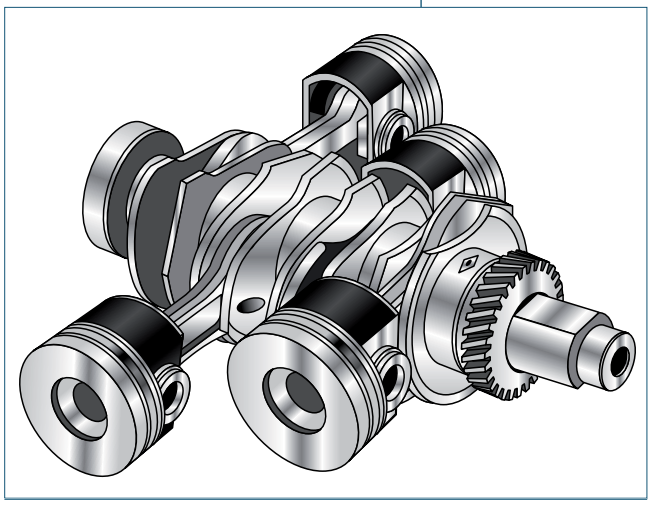
El orden de encendido de los cilindros en estos motores es: 1 – 3 – 2

## Actividades propuestas

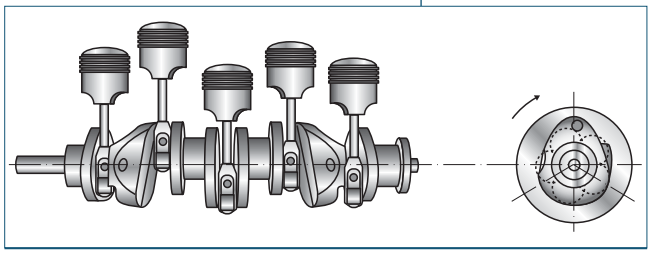
**5··** Representa en un cuadro la secuencia de tiempos correspondiente a un motor de 3 cilindros con orden de encendido 1 - 2 - 3, si el cilindro número 2 hace el tiempo de escape en la primera media vuelta.



**6.19.** Tren alternativo de un motor de 4 cilindros en línea.



**6.20.** Tren alternativo de un motor de 4 cilindros horizontales opuestos.



**6.21.** Tren alternativo de un moto de 5 cilindros en línea.

### Motor de 4 cilindros

– **Cilindros en línea.** El primer cilindro normalmente corresponde al situado en la parte de la distribución, aunque en algunos modelos se empiezan a contar desde el volante (figura 6.19).
El orden de encendido puede ser:
• 1 – 3 – 4 – 2
• 1 – 2 – 4 – 3
Se produce un tiempo de trabajo cada 180° con lo cual se están produciendo todos los tiempos en cada momento en diferentes cilindros.
Orden de encendido: 1 – 3 – 4 – 2

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E | A | C | |
| 2 | E | A | C | T | |
| 3 | C | T | E | A | |
| 4 | A | C | T | E | |

– **Cilindros horizontalmente opuestos.** El primer y tercer cilindro alcanzan el PMS a la vez, visto desde la distribución a la izquierda quedan situados el primero y el segundo (figura 6.20). El orden de encendido más utilizado en estos motores es: 1 – 4 – 3 – 2

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E | A | C | |
| 2 | E | A | C | T | |
| 3 | A | C | T | E | |
| 4 | C | T | E | A | |

### Motor de 5 cilindros

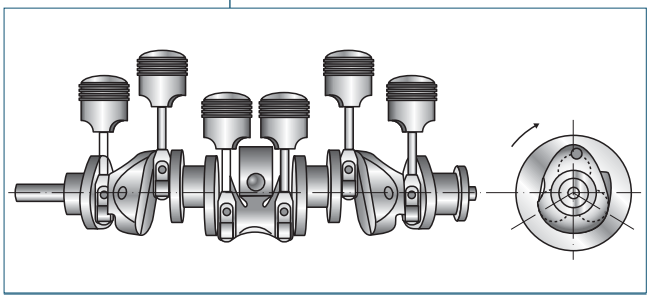
En los motores de 5 cilindros los pistones no se desplazan dos a dos. Las muñequillas del cigüeñal están desfasadas 144°, resultado de dividir 720° entre 5. Cada 36° de giro del cigüeñal se está repitiendo un tiempo en dos cilindros (figura 6.21).

El orden de encendido más usual es: 1 – 2 – 4 – 5 – 3

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E | A | C | |
| 2 | C | T | E | A | C |
| 3 | T | E | A | C | T |
| 4 | A | C | T | E | A |
| 5 | E | A | C | T | E |

### Motor de 6 cilindros

El desfase de la muñequilla del cigüeñal entre cilindros en estos motores es de 120° según el orden de encendido, con lo cual los pistones alcanzan los puntos muertos dos a dos, repitiéndose tiempos cada 60° en 2 cilindros diferentes (figura 6.22).



**6.22.** Tren alternativo de un motor de 6 cilindros en línea.

En los motores de 6 cilindros estos pueden ir colocados en línea o en V:

– **Cilindros en línea.** El cilindro número uno suele coincidir con la parte de la distribución. El orden de encendido más habitual es: 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4

| | 0° | | 180° | | 360° | | 540° | | 720° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | | E | | A | | C | | |
| 2 | E | | A | | C | | T | | E |
| 3 | A | | C | | T | | E | | A |
| 4 | T | | E | | A | | C | | T |
| 5 | C | | T | | E | | A | | C |
| 6 | A | | C | | T | | E | | |

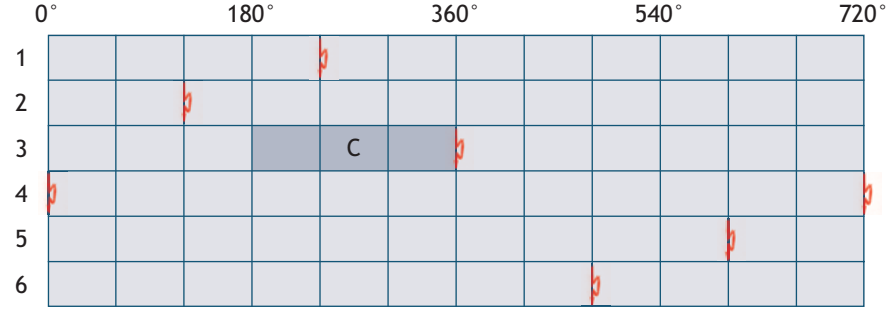
– **Cilindros en V.** Los cilindros van numerados desde la distribución primero la fila de la izquierda del 1 al 3, y después la de la derecha del 4 al 6. El orden de encendido suele ser: 1 – 3 – 6 – 5 – 4 – 2

## Casos prácticos

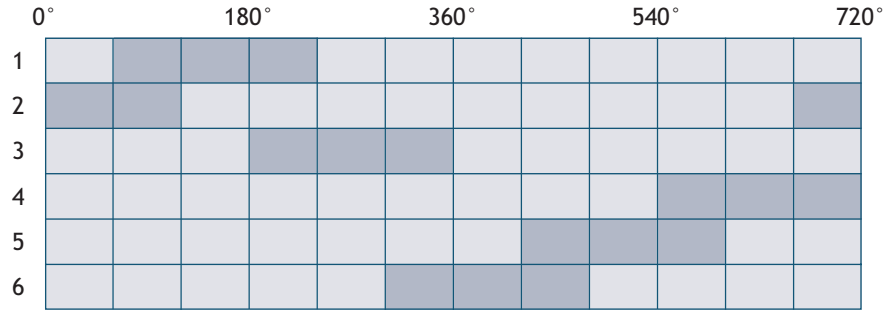
### Ciclo completo para un motor de 6 cilindros en V

•• ¿Qué tiempo se realiza en cada momento, si el orden de encendido de un motor de 6 cilindros es 1 - 3 - 6 - 5 - 4 - 2, y el cilindro número 3 hace el tiempo de compresión en la segunda media vuelta del cigüeñal o entre 180 y 360°?

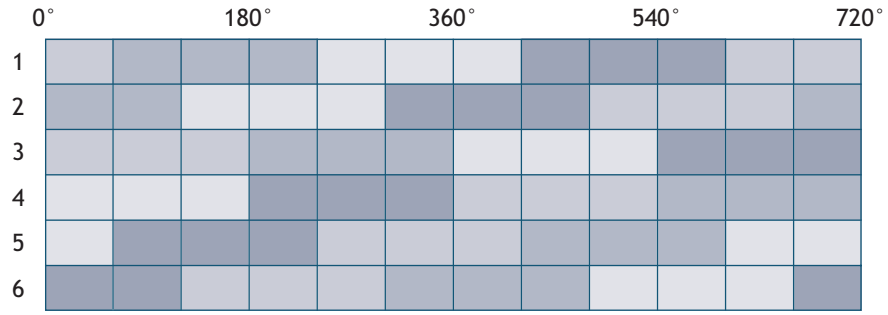
**Solución** •• Al ser un motor de 6 cilindros, el mismo tiempo comenzará en un cilindro 120° después, según el orden de encendido. Para ello se divide cada celda en 3 partes y a cada parte le corresponderán 60° de giro del cigüeñal.



La zona sombreada corresponde al dato de compresión, teniendo en cuenta el orden de encendido y el número de cilindros, el próximo cilindro que comenzará la compresión será el número 6, 120º después; y el resto de cilindros lo hará según el orden de encendido.




El resto de la tabla se rellena según el orden en el cual se producen los tiempos.




El resultado final es:

| | 0° | | 180° | | 360° | | 540° | | 720° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | C | | T | | E | | A | |
| 2 | C | | T | | E | | A | | C |
| 3 | A | | C | | T | | E | | |
| 4 | T | | E | | A | | C | | |
| 5 | T | E | | A | | C | | T | |
| 6 | E | | A | | C | | T | | E |

Como se puede observar en la tabla, cada 60° de giro del cigüeñal se repiten dos tiempos.

## Actividades propuestas

**6·· ¿Qué tiempos se producen en el resto de los cilindros en los siguientes casos?**

- Un motor de 4 cilindros en línea y orden de encendido 1 - 2 - 4 - 3, si el número 1 está en compresión.
- Un motor de 4 cilindros horizontalmente opuestos y orden de encendido 1 - 4 - 3 - 2, si el número 3 hace admisión.

## Actividades finales

**1··** La temperatura ambiente en enero a las 7 de la mañana es de –15 ºC, en el mes de julio a la misma hora es de 20 ºC. ¿El rendimiento térmico de un motor será el mismo en los dos casos?

**2··** De los siguientes factores, indica cómo influye cada uno sobre el rendimiento volumétrico:

- Temperatura exterior.
- Presión atmosférica.
- Densidad de la mezcla.
- Empleo de turbos.

**3··** ¿Desarrolla mucha potencia o mucho par el ganador al sprint en una carrera ciclista? ¿ Quién es el ganador en las etapas de montaña: el que desarrolla mucha potencia o mucho par? Razona las respuestas.

**4··** ¿Qué relación existe entre la potencia y el consumo específico del motor?

**5··** Dos vehículos consiguen alcanzar la misma potencia a 4 000 y 6 000 rpm. El primero consigue un par de 330 Nm a 2 000 rpm y el segundo 220 Nm a 4 000 rpm. ¿Cuál de los dos motores es más elástico?

**6··** Después de una avería fue necesario rectificar un motor y se le hicieron las siguientes reparaciones:

- Planificar la culata rebajando esta una medida de 0,25 mm.
- Después de comprobar el ovalamiento de los cilindros fue necesario rectificarlos haciendo el diámetro mayor en una medida de 0,20 mm y colocando los correspondientes pistones de sobremedida.

¿Cómo influye esto sobre la cilindrada? ¿El volumen de la cámara de compresión aumenta o disminuye? ¿Cambiará el valor de la relación de compresión? En caso afirmativo indica por qué.

Si por un error colocáramos una junta de culata de un espesor mayor al original, ¿como influiría esto sobre la relación de compresión?

**7··** Un motor tiene las siguientes características: 4 cilindros, diámetro 81 mm, carrera 95,5 mm y volumen de la cámara de compresión 27,88 $cm^3$. Con estos datos, calcula:

a) Cilindrada unitaria.
b) Cilindrada total.
c) Relación de compresión.
d) Potencia en caballos de vapor y kilovatios a 2 000 rpm, si el par a este régimen es 23,5 kpm.

**8··** Un vehículo dispone de un motor de 4 cilindros, con un diámetro de 82 mm y una carrera de 85,3 mm. Calcula la cilindrada unitaria y total, sabiendo que la máxima potencia son 100 CV a 5 500 rpm, y el máximo par es 23,5 kpm a 2 000 rpm. Calcula también el coeficiente de elasticidad.

**9··** Representa en un cuadro los diferentes tiempos que corresponden a cada uno de los cilindros si disponemos de los siguientes datos:

- Motor de 3 cilindros en línea y orden de encendido 1 – 3 – 2, si el número 2 está en escape en la primera media vuelta.
- Motor de 6 cilindros en V y orden de encendido 1 – 3 – 6 – 5 – 4 – 2, si el número 3 hace admisión en la segunda media vuelta.

## Caso final

### Análisis de las características de un motor de cuatro tiempos

•• Se dispone de un motor de cuatro tiempos que posee las siguientes características:

- 4 cilindros en línea.
- Diámetro: 90 mm.
- Carrera: 80 mm.
- La relación de compresión es de 11/1.
- El cilindro número 1 está situado al lado correspondiente a la distribución.

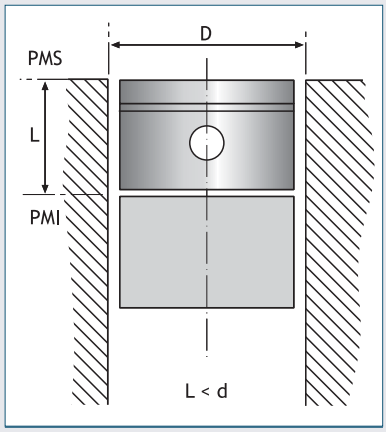
a) ¿Qué tipo de motor es respecto a la relación de diámetro y carrera? ¿Qué tipo de combustible utilizará?
b) ¿Cuál es el sentido de giro del cigüeñal? ¿Y el orden de encendido? ¿Sería posible otro orden de encendido?
c) Sabiendo que el cilindro número 1 hace el tiempo de admisión, ¿qué tiempos se producen en el resto de los cilindros en cada momento?
d) Si fuera necesario rectificar los cilindros aumentando estos y cambiando los pistones por otros de sobremedida, ¿cómo afectaría esto a la relación de compresión, a la potencia y al par?

### Solución ••

a) En cuanto al tipo de motor respecto a la relación carrera y diámetro, se clasifica dentro de los motores supercuadrados por ser el diámetro mayor que la carrera.

A la vez hay que considerar que la relación de compresión es baja y tiene una carrera corta con relación al diámetro correspondiendo estos datos a un motor que alcanza gran número de revoluciones, siendo típico de los motores otto, por lo cual se entiende que es un motor de gasolina.

b) Para localizar el sentido de giro del cigüeñal debes primero identificar las válvulas de admisión y escape. Fíjate después en las válvulas que le corresponden a uno de los cilindros, por ejemplo al número 1, y se tiene que cumplir que una vez se observe que las dos válvulas se encuentren cerradas al girar el volante en el sentido correcto se abra primero la válvula de escape.

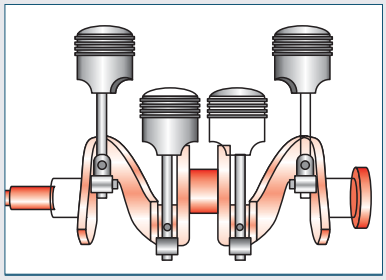



**6.23.** Relación carrera y diámetro.

**6.24.** Motor de gasolina visto desde la parte superior.

Una vez localizado el sentido de giro, para conocer el orden de encendido tienes que fijarte en un tipo de válvulas en todos los cilindros, por ejemplo, en las válvulas de admisión, y gira dos vueltas el cigüeñal observando en qué orden se produce la apertura de las válvulas. Normalmente el orden de encendido es 1 - 3 - 4 - 2.

Al ser un motor de 4 cilindros en línea, otro posible orden de encendido es 1 - 2 - 4 - 3, ya que entre el cilindro 1 y 4 debe haber un desfase de 360° de giro cigüeñal para realizar el mismo tiempo. Lo mismo ocurre entre los cilindros 3 y 2 (figura 6.25).



**6.25.** Disposición de los pistones en el motor.

c) Para saber qué tiempo se produce en los diferentes cilindros en cada momento se realiza el cuadro correspondiente a un ciclo completo:

| | 0° | 180° | 360° | 540° | 720° |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E | A | C | |
| 2 | E | A | C | T | |
| 3 | C | T | E | A | |
| 4 | A | C | T | E | |

Según el cuadro, en la tercera media vuelta, entre 360 y 540°, en el cilindro número 1 se produce el tiempo de admisión, dato del enunciado, en los demás cilindros se producirán los tiempos siguientes:

- El tiempo de compresión en el cilindro 2.
- El tiempo de escape en el cilindro 3.
- El tiempo de trabajo en el cilindro 4.

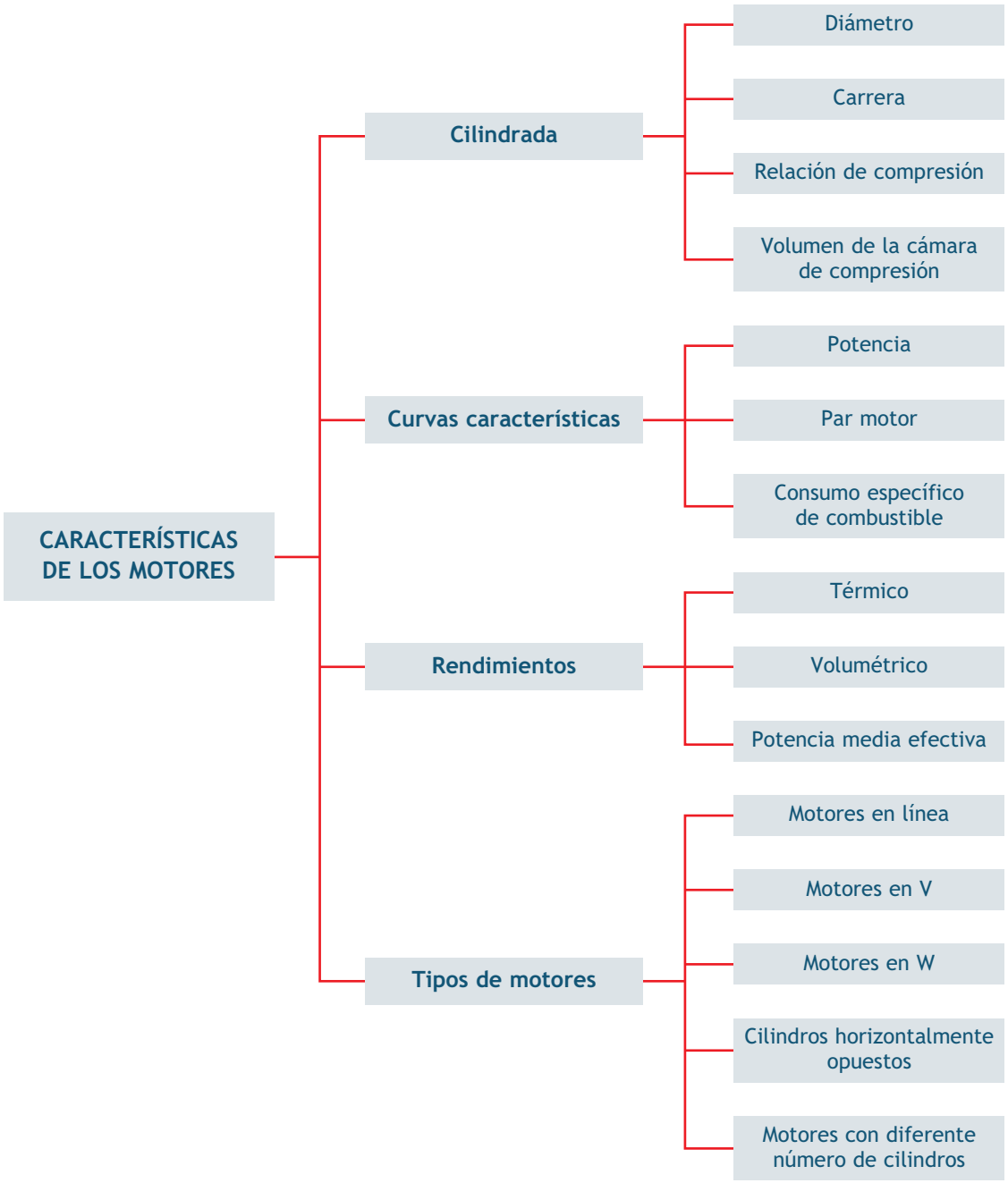
d) La relación de compresión, la potencia y el par son mayores en el caso de aumentar los cilindros y cambiar los pistones, por las siguientes causas:

- La relación de compresión es directamente proporcional al volumen del cilindro y este a la vez lo es al diámetro, el cual aumenta cuando se produce el rectificado.

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c},\ V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L$$

- La potencia depende de la fuerza y de la velocidad: $P = F \cdot v$ , siendo directamente proporcional a ambas. La fuerza será mayor pues al rectificar aumenta la presión y también la superficie, y ambos factores son directamente proporcionales a la fuerza y por tanto a la potencia.
- El par está influenciado por la fuerza y el radio de giro: $M = F \cdot r$. El radio no varía pero sí lo hace la fuerza por las mismas causas ya citadas, con lo cual el par también es mayor.

## Ideas clave


CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES
Cilindrada
Diámetro
Carrera
Relación de compresión
Volumen de la cámara de compresión
Curvas características
Potencia
Par motor
Consumo específico de combustible
Rendimientos
Térmico
Volumétrico
Potencia media efectiva
Tipos de motores
Motores en línea
Motores en V
Motores en W
Cilindros horizontalmente opuestos
Motores con diferente número de cilindros

# EVOLUCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

La evolución de las curvas de par motor y potencia en los últimos años ha sido espectacular, tanto en motores de gasolina, como en motores diésel.

Hasta los años 80, los motores de gasolina eran los más utilizados en turismos, y para lograr potencia se aumentaba la cilindrada, lo que traía consigo un incremento del consumo. Por aquellos años, el consumo de los motores diésel era bajo, pero desarrollaban poca potencia: eran motores lentos y ruidosos. La subida del combustible hizo necesario encontrar fórmulas alternativas para conseguir mayor potencia sin aumentar el consumo, o intentar mantener la potencia disminuyendo el consumo. Esto se consiguió en los motores de gasolina: en un principio, gracias a los encendidos electrónicos, y posteriormente, mediante los sistemas de inyección electrónica. De esta forma se lograron potencias de unos 90 CV con motores de 1 500 $cm^3$, algo impensable unos años antes.

Los motores de gasolina han seguido mejorando con el tiempo pero donde realmente se ha producido un avance importante ha sido en los motores diésel. En su día, estos motores eran lentos, ruidosos y de difícil arranque en zonas frías. La potencia que podía llegar a entregar un motor de 1 900 $cm^3$ en los años 90 estaba en torno a los 60 ó 70 CV. Hoy en día, gracias a los sistemas de sobrealimentación, el sistema de control electrónico de la inyección y los nuevos sistemas de distribución, existen vehículos que, con motores de 1 900 $cm^3$, consiguen potencias de 150 CV y un par motor de 330 Nm, con un consumo de combustible muy aceptable.

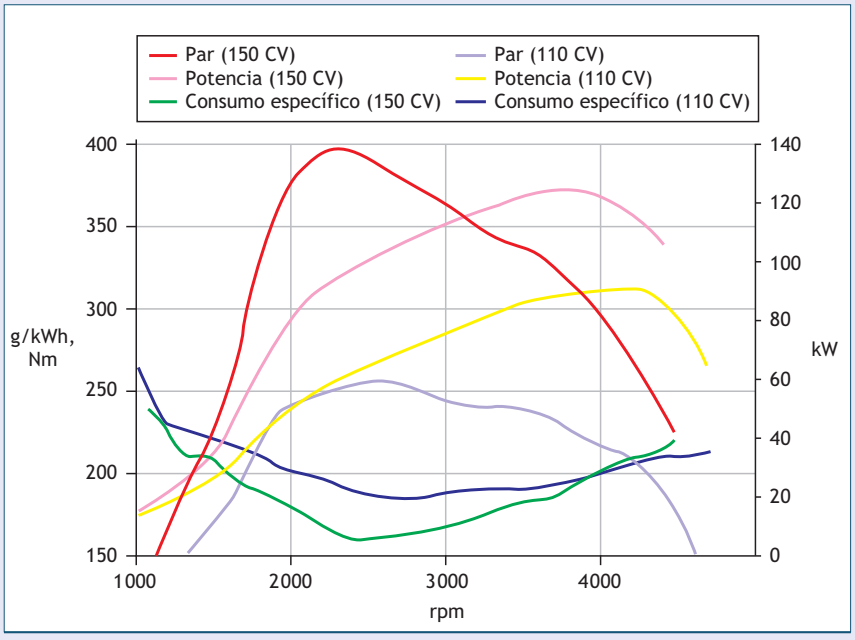
Si comparamos (figura 6.26) el consumo específico (g/kWh) en dos motores con características distintas: uno de 110 CV y otro de 150 CV que posean la misma cilindrada, entenderemos la evolución de las curvas características a lo largo de los últimos años.

La diferencia en cuanto a par y potencia es notable, y las presiones de alimentación son sensiblemente superiores en el 150, por lo que a priori se supone mejor rendimiento en este último... pero ¿cuánto?

Aparte del extraordinario par que posee el de 150, lo que más destaca es la simetría de las curvas de consumo específico frente a la de par, y su ligero desplazamiento en los máximos/mínimos hacia la derecha. Es casi un reflejo una de otra, y lo mejor de todo es la comprobación de la eficiencia del motor 150, que supera ampliamente en economía por kW al de 110 (curvas verde y azul respectivamente).

Se puede concluir, que la zona de mejor rendimiento energético en el 110 está desde las 2 400 rpm hasta las 3 600 rpm, mientras que el 150 comienza en las 2 300 rpm y es más estrecha, terminando sobre las 3 000 rpm. Aunque siempre más bajo que el 110, el consumo específico del 150 llega a superar a partir de 4 000 rpm la cifra del 110, por lo que ahí está su punto débil. No obstante, hay que decir que ese ya es un régimen demasiado elevado para este tipo de motores, cayendo la curva de potencia con cierta pendiente a partir de ese punto.

www.arpem.com




**6.26.** Curva característica de dos motores con la misma cilindrada.

unidad 7

# La culata. Verificación y controles

## SUMARIO

- Tipos de culatas
- Materiales y fabricación
- Combustión y cámaras de combustión
- Junta de culata y tornillos de culata
- Diagnóstico de averías, verificaciones y reparaciones

## OBJETIVOS

- Conocer en profundidad las culatas usadas en el automóvil: desmontaje, verificación y reparación.
- Comprender las altísimas solicitaciones mecánicas y térmicas a las que están sometidas las culatas de los motores actuales.
- Entender la dificultad que existe en el diseño de culatas a la hora de la fabricación de estas.
- Conocer las averías que se producen en la culata.

## 1 >> Introducción al estudio de la culata

**Uno de los elementos más importantes del motor es la culata. Esta pieza se sitúa sobre el bloque de cilindros, y hace de tapa entre dicho bloque y los cilindros con la interposición de una junta, llamada junta de culata.**

La culata está atornillada al bloque con unos tornillos especiales. La mezcla de combustible entra en la cámara que alberga la culata para ser comprimida por el pistón y realizar la combustión dentro de ella.

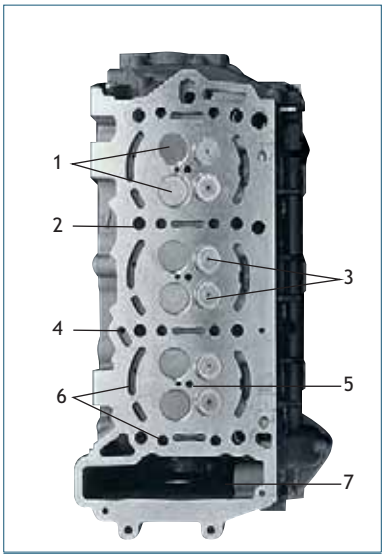
Las culatas están sometidas a elevadas exigencias mecánicas, como la presión media efectiva de combustión (de unos 100 bar) o el golpeteo continuo de las válvulas contra sus asientos. También están preparadas para soportar altas temperaturas, como los 2 000 °C que puede alcanzar la cámara en la combustión; y las grandes corrosiones químicas, provocadas por el contacto con combustibles, lubricantes, anticongelantes y gases a elevadas temperaturas.

La culata alberga una tecnología muy avanzada y en ella se alojan gran cantidad de elementos (figura 7.1):

- **Elementos de distribución**, como válvulas, guías, asientos, árboles de levas, balancines, retenes de válvulas, taqués, etc.
- **Cámaras de combustión**, generalmente escavadas en la culata.
- **Circuitos de refrigeración y engrase** para evacuar la temperatura generada por la combustión en las cámaras, válvulas, bujías, etc. Estos circuitos evitan el deterioro de piezas mecánicas, al tiempo que lubrican los elementos móviles que se alojan en la culata como el árbol de levas, balancines, taqués, válvulas, etc.
- **Encendido.** En los motores otto hay alojamientos para bujías de encendido, que tienen que alcanzar la cámara de combustión y deben ir también refrigerados para evitar averías en ellas. En los motores diésel existe un alojamiento para las bujías de precalentamiento o calentadores.
- **Colectores de admisión y escape.**
- **Orificios** para alojar los inyectores de inyección directa.
- **Orificios** para el alojamiento de los tornillos de culata para fijarla al bloque.
- **Planos mecanizados** para unión al bloque, colectores, etc.
- **Orificios** para salida de tomas de fuerza para accionar bombas de vacío, distribuidores, bombas de alta presión, etc.

Todos estos elementos realizan diferentes misiones como la combustión, el salto de chispa, la inyección, la refrigeración, el engrase, la apertura y el cierre del paso de los gases frescos y de los quemados, etc. Por ello, la culata es susceptible de bastantes percances.

Un mismo bloque con diferentes culatas puede tener potencias muy distintas, pues el rendimiento volumétrico depende principalmente del sistema de distribución y la forma de la culata y los colectores. Con un diseño adecuado de la cámara de combustión se puede reducir notablemente el consumo y la contaminación provocados por el motor.




**7.1.** Detalles de una culata.

1. Válvulas de admisión
2. Orificios para tornillos de culata
3. Válvulas de escape
4. Orificios de subida de aceite a la culata
5. Orificios de inyector y calefactor
6. Pasos de agua de refrigeración
7. Orificio para el paso de la cadena de distribución

### La junta de culata

La junta de culata, que hace estanco el conjunto culata y bloque, también está sometida a grandes solicitaciones térmicas, mecánicas y ataques químicos al igual que la culata, con el inconveniente añadido de que esta está construida de materiales más blandos para que se adapte de mejor manera a las superficies a estanqueizar.

### Ventajas de las culatas de único sentido

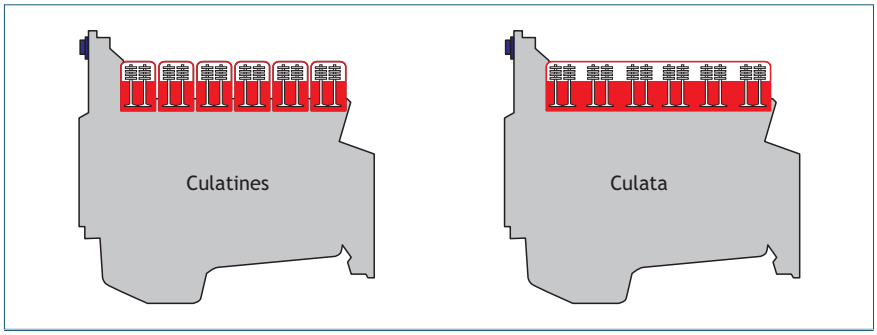
En la actualidad, la mayoría de las culatas son de un único sentido porque así se facilita el barrido de los gases y, en consecuencia, la mejora del llenado. Además, así se consigue tener los colectores de admisión y escape en distintos laterales de la culata, impidiendo que el calor del colector de escape afecte al de admisión, pues esto influye en el rendimiento volumétrico.

## 2 >> Tipos de culatas

Las culatas se pueden clasificar en función de distintos criterios:

– Del número de cilindros que albergan (figura 7.2):

- **Culatín.** El motor es pluricilíndrico, pero lleva una culata por cilindro. Se emplea sobre todo en vehículos industriales.
- **Culata.** Una sola culata alberga más de un cilindro.




**7.2.** Diferencia entre culatines y culata.

– De los materiales empleados en la fabricación:

- De fundición de hierro.
- De aleación ligera o de aluminio.

– Del sistema de refrigeración:

- **Culatas refrigeradas por aire.** Destinadas para motores de dos y cuatro tiempos, muy usadas en motocicletas (figura 7.3). Es un tipo de refrigeración sencillo, con menos elementos y con un coste inferior. Llevan un aleteado exterior para aumentar la superficie de disipación térmica.
- **Culatas refrigeradas por líquido.** Son más complejas de fabricar, pero más eficaces. Se usan en motores grandes como los de motos de gran cilindrada, turismos y vehículos industriales. Están formadas por una red de conductos por los que circula el líquido refrigerante.

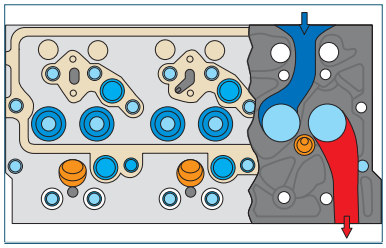
– De la forma de entrar y salir los gases de ella:

- **Las culatas de un sentido.** Los gases frescos entran transversalmente a la culata por un lado, y salen quemados por el otro (figura 7.4).
- **Las culatas de doble sentido.** Los gases frescos entran a la culata transversalmente por un lado, y los gases quemados salen por el mismo lado, con la misma dirección pero en sentido contrario (figura 7.5).

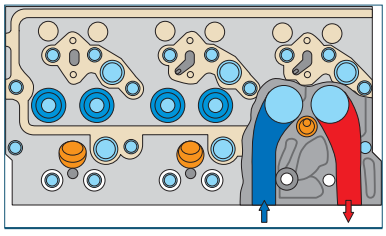
– Si son para motores diésel o gasolina:

- **Culatas para motores de encendido provocado (MEP).** Suelen llevar la cámara de combustión practicada en la culata y además llevan alojamiento para bujías de encendido.
- **Culatas para motores de encendido por compresión (MEC).** Vistas desde abajo, suelen ser planas. En motores de inyección directa, llevan la precámara de combustión escavada y tapada por un tapón que deja un pequeño orificio de comunicación. Las de motores de inyección directa no llevan ningún tipo de precámara ya que están practicadas en el pistón.

**7.3.** Culata refrigerada por aire.



**7.4.** Culata de único sentido.



**7.5.** Culata de doble sentido.

## 3 >> Fabricación de la culata

Hasta hace unos años el material de fabricación de la culata era la fundición de hierro, pero en la actualidad se usan más las aleaciones ligeras de aluminio (figura 7.6).

Las culatas de fundición de hierro se siguen empleando en grandes motores, como en maquinaria de obras públicas, camiones, etc., donde las culatas son de grandes dimensiones y, por ello, más propensas a alabeos. En estos casos se elige la fundición de hierro porque es más resistente que las aleaciones ligeras.

**7.6.** Culata de aleación ligera de aluminio.

Las aleaciones ligeras tienen la ventaja de reducir el peso y, sobre todo, de tener un alto coeficiente de disipación térmico. Sus principales inconvenientes son la menor resistencia y que se alabean fácilmente con el calor.

Las aleaciones ligeras llevan aleados **aluminio, magnesio y silicio.** Este último da resistencia a la culata, aunque dificulta los mecanizados posteriores. Estas culatas son, con diferencia, las más empleadas en la actualidad. Los procesos de fabricación de las aleaciones ligeras son las fundiciones en coquilla a baja presión y, las más modernas, de molde positivo o perdido, llamado también *lost foam.*

Debido a la altísima complejidad de las culatas actuales, la fundición en molde positivo o perdido ofrece grandes ventajas al resultar más fácil realizar culatas complejas. Consiste en fabricar un molde en positivo, es decir, con la forma de la culata más el bebedero por donde entrará la fundición. El material con el que se hace este molde es poliestireno expandido; dicho material tiene un aspecto de espuma consistente. Posteriormente se recubre con un material refractario, generalmente cerámica, y por vibración se introduce al completo (excepto el orificio por donde va a entrar la aleación fundida) en un recipiente lleno de arena compactada. Por el mencionado orificio se proyecta la aleación que va vaporizando el molde de poliestireno expandido (se pierde el molde cada vez que se hace una culata) y va rellenando todos los huecos que conformaban el molde positivo, cogiendo la forma de la culata. Este tipo de fundición permite hacer canales y taladros muy finos, como las conducciones de aceite, sin tener que mecanizarlas a posteriori, y tiene un acabado superficial muy bueno.

### Combustibles o carburantes

Los combustibles o carburantes más comunes son mezclas químicas compuestas de hidrógeno y carbono, también llamados hidrocarburos (HC). La gasolina, por ejemplo, está compuesta de mezclas de hidrocarburos simples como el heptano ($C_7H_{16}$), con bajo poder antidetonante, y el isoctano ($C_8H_{16}$), con muy alto poder antidetonante.

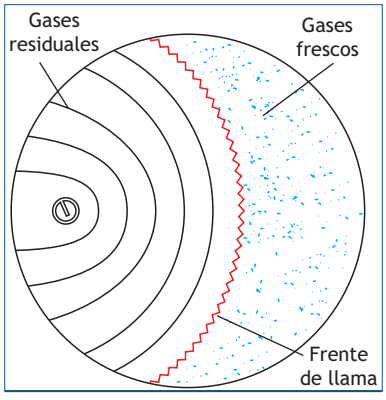
Se toma el heptano como hidrocarburo con índice de octano 0 (cero poder antidetonante) y al isoctano con índice de octano 100 (máximo poder antidetonante).

Las gasolinas actuales resultan tener unos índices de octanos (NO) comprendidos entre 95 y 98 octanos.

### Proporción de oxígeno en el aire

El aire está compuesto por distintos gases, aproximadamente en las siguientes proporciones:

- 78% de nitrógeno.
- 21% de oxígeno.
- 1% de argón, dióxido de carbono, hidrógeno y otros gases.




**7.7.** Combustión normal con su frente de llama.

## 4 >> Combustión y cámaras de combustión

**La combustión es una rápida reacción química. Sucede entre un carburante, gasolina o gasoil, y un comburente, oxígeno procedente del aire, con el objetivo de extraer la energía química del carburante, o combustible, y transformarla en energía mecánica.**

Dicha reacción química es exotérmica, es decir, produce calor que hace aumentar la presión de los gases, que al encontrar las válvulas cerradas solo pueden expandirse empujando hacia abajo al pistón, consiguiendo de esta forma el trabajo que se buscaba.

La combustión es distinta para los motores de encendido provocado (MEP) y los motores de encendido por compresión (MEC).

La combustión se realiza dentro de la cámara de combustión. En esta cámara el pistón comprime al volumen de la cámara de combustión los gases admitidos en el cilindro en el tiempo de compresión. Esta compresión favorece la combustión de la mezcla.

### 4.1 > Combustión en los MEP

**En los motores de encendido provocado se inicia la combustión al saltar una chispa, generada por un sistema de encendido, justo en el momento en el que las condiciones de la mezcla aire/gasolina son críticas, por presión y por temperatura.**

Justo antes del salto de chispa, el combustible suministrado por el sistema de alimentación está vaporizado por la temperatura que existe debido a la presión y a combustiones anteriores; dicho combustible está perfectamente mezclado con el aire.

Si sucede una combustión normal, al saltar la chispa se crea un frente de llama que se va desplazando por la cámara y va quemando el combustible de forma ordenada, quedando detrás de dicho frente los gases residuales y por delante los gases frescos (figura 7.7). El frente de llama que se inicia en la bujía, se desplaza a través de la cámara de combustión a una velocidad denominada **velocidad del frente de llama** ($v_{fll}$).

La velocidad del frente de llama es la suma de la velocidad de la llama más la velocidad de arrastre. Esta es debida a la presión que ofrecen los gases residuales y a la turbulencia.

$$v_{fll} = v_{ll} + v_a$$

Siendo:

$v_{fll}$: velocidad del frente de llama.
$v_{ll}$: velocidad de la llama.
$v_a$: velocidad de arrastre.

Por ejemplo, en un incendio provocado en un campo de hierba seca, el mechero sería la bujía y la llama sería la chispa; se crearían unas llamas que avanzarían de forma concéntrica, cuya velocidad sería igual al espacio recorrido por unidad de tiempo. Esa velocidad podría crecer por el

aumento de la presión en un sitio cerrado, o si hiciera viento, el equivalente a la turbulencia en el motor. Estos dos últimos factores en el motor serían los que producen la velocidad de arrastre.

En función de esa velocidad, la combustión total tardará más o menos en realizarse; a ese tiempo que tarda en realizarse la combustión lo vamos a llamar **tiempo de combustión ($t_c$).**

El tiempo de combustión está en función de:

– La velocidad del frente de llama ($v_{fll}$). A mayor velocidad del frente de llama, menor tiempo de combustión.
– Longitud de la cámara (L). A mayor longitud de la cámara, mayor tiempo de combustión.

$$t_c = \frac{L}{v_{fll}}$$

Siendo:
$t_c$: tiempo de combustión.
L: longitud de la cámara.
$v_{fll}$: velocidad del frente de llama.

La longitud de la cámara depende del tamaño, la forma de la cámara y de la colocación de la bujía dentro de esta: cuanto más centrada esté la bujía, menor longitud de cámara habrá.

La velocidad media del frente de llama es proporcional a la velocidad media del pistón. En la velocidad del frente de llama también afecta mucho la turbulencia: cuanto mayor es esta, mayor será la velocidad del frente de llama. De ahí la importancia del diseño de la cámara y de los colectores para conseguir la mayor turbulencia posible, pues esta aumenta la homogeneización de la mezcla y la velocidad del frente de llama, evitando así la detonación y reduciendo el combustible sin quemar, lo cual mejora el rendimiento del motor y reduce la contaminación.

La combustión es muy rápida y apenas hay giro del cigüeñal cuando esta sucede, por tanto, se dice que, teóricamente, la combustión se realiza a volumen constante.

Cuando la mezcla alcanza las condiciones críticas de inflamabilidad, debido a la presión y temperatura que sufre, transcurrido un pequeño tiempo se produce su autoinflamación: a este tiempo lo vamos a llamar **tiempo de retardo ($t_r$),** entendido como retardo a la autocombustión. Por lo cual, para que se produzca una combustión normal, tenemos que tener un **tiempo de combustión ($t_c$)** menor que el tiempo de retardo.

Si tenemos un tiempo de retardo menor que el tiempo de combustión se produce una combustión anómala.

> **Una combustión anómala es una combustión en la que el combustible no se quema solo por el frente de llama y, además, no se realiza de forma ordenada. Existen diferentes tipos de combustiones anómalas: la detonación, el autoencendido y el encendido superficial.**

### Velocidad media del pistón

El pistón baja y sube recorriendo dos veces la carrera del motor en cada revolución del cigüeñal. La velocidad del pistón, en metros por segundo, es máxima a mitad de carrera y es cero en el PMS y PMI.
Para calcular la velocidad media, se aplica la siguiente fórmula:

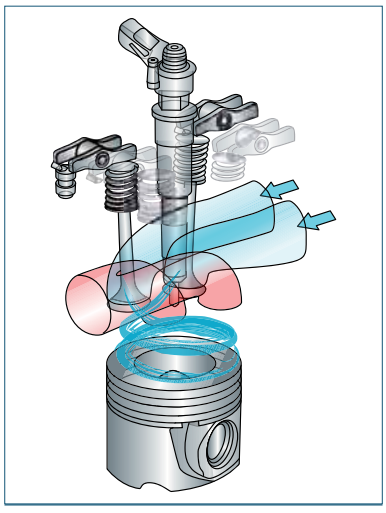
$$v_m = \frac{2 \cdot L \cdot n}{60}$$

Siendo:
L: carrera expresada en metros.
n: número de revoluciones por minuto.

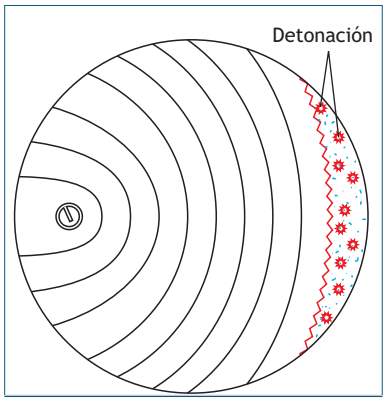
### Efecto swirl

En la actualidad la mayoría de los motores, tanto gasolina como diésel, buscan una elevada turbulencia para conseguir homogeneización del carburante con el aire y alta velocidad de combustión de la mezcla. En los motores de gasolina esta turbulencia disminuye la detonación por lo que se puede trabajar con mezclas más pobres aunque sean más detonantes.

El efecto *swirl* consiste en dar al aire que entra en el cilindro una gran velocidad y un efecto giratorio mediante diseño especial en espiral de los colectores de admisión.



**7.8.** Efecto *swirl*.




**7.9.** Combustión anómala. Detonación.

En la **detonación** una parte del combustible se autoinflama por haber alcanzado su presión y temperatura críticas de autoinflamación, antes de que les llegue el frente de llama (figura 7.9).

Dicha presión y temperatura han aumentado más todavía porque ya se ha iniciado la combustión. En este fenómeno se producen presiones y temperaturas elevadísimas. Dichas temperaturas pueden llegar a fundir el material de la cámara de combustión o el de la cabeza del pistón, y dichas presiones se crean porque la propagación es alrededor de 10 veces superior que la normal, creando ondas de presión que se transmiten al pistón, bulón, biela, casquillos del cigüeñal y cigüeñal. Los que más sufren por la presión son los casquillos del cigüeñal, pudiendo destruir la capa antifricción de los cojinetes del cigüeñal, de ahí el otro nombre que recibe: **picado de biela.** Tan elevadas temperaturas también hacen desaparecer la película de aceite de la parte alta del cilindro, produciendo desgastes mayores y corrosión en dicha zona. Este fenómeno lo puede percibir el conductor como un golpeteo metálico parecido a cuando se agita una botella de cristal llena de perdigones.

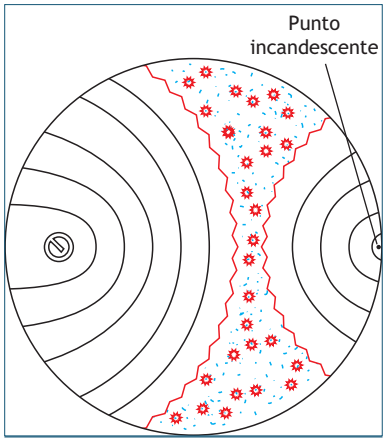
La detonación es consecuencia de alguno de los siguientes factores:

– **Presión final de compresión.** A mayor presión final de compresión mayor detonación. Cualquier aspecto que aumente la presión final de compresión, como que el avance de encendido aumente o que el rendimiento volumétrico sea mayor ($\eta_v$), hará aumentar la detonación.
– **Temperatura final de compresión.** A mayor temperatura final de compresión, mayor detonación. Cualquier factor que haga subir la temperatura final de compresión, como la mezcla pobre, el incremento de temperatura de motor o ambiental, aumentará la detonación.
– **Tiempo de retardo ($t_r$).** A mayor tiempo de retardo, más altas son la presión y la temperatura que aguanta el combustible antes de autoinflamarse, por tanto, menor será la detonación. Cualquier factor que disminuya el tiempo de retardo, como que decrezca el **índice de octano** (NO), aumentará la detonación.
– **Tiempo de combustión ($t_c$).** Cuanto mayor es el tiempo de combustión, más fácil es que el combustible alcance su temperatura y presión críticas para autoinflamarse, por tanto, mayor será la detonación. Cualquier factor que aumente el tiempo de combustión, como disminuir la velocidad del frente de llama ($v_{fll}$), que la turbulencia disminuya o que la longitud desde la bujía al final de la cámara sea mayor, aumentará la detonación.

### Solucionar la detonación

En caso de detonación, se puede verificar y actuar en el taller por el siguiente orden, sobre:

- Índice de octano (NO).
- Avance del encendido.
- Temperatura del motor.
- Dosado.
- Relación de compresión ($R_c$).
- Rendimiento volumétrico ($\eta_v$).




**7.10.** Combustión anómala. Autoencendido simultáneo.

El **autoencendido** es otra combustión anómala en la que el combustible se inflama de una forma provocada por un segundo punto distinto de la bujía (figura 7.11). Este punto suele ser algún punto incandescente como alguna viruta, carbonilla, parte exterior de las válvulas por estar mal rectificadas o, incluso, por algún electrodo de la bujía que esté incandescente. El autoencendido puede suceder antes de que salte la chispa llamándose **preencendido** y aparecerá la detonación por aumentar el avance del encendido; **simultáneo**, donde se crean dos frentes de llama que aumentan la presión y la temperatura del combustible haciéndolo detonar, y **postencendido**, es decir, después de que salte la chispa. Luego, el autoencendido es una detonación provocada por un punto incandescente dentro de la cámara.

La combustión detonante se debe evitar por todos los medios porque resta potencia al motor, lo sobrecalienta y le puede deteriorar la mecánica de forma muy rápida.

### Formas características de las cámaras en los MEP

La forma de la cámara de combustión ha evolucionado bastante con el paso del tiempo. Los cambios más importantes que ha experimentado son los siguientes:

– Se ha reducido la longitud que tiene que recorrer el frente de llama.
– La turbulencia ha aumentado.
– La cantidad de combustible que queda en las partes finales de la cámara es menor.
– Se han evitado al máximo los puntos incandescentes.

Las cámaras típicas en los motores de gasolina son (figuras 7.11 y 7.12):

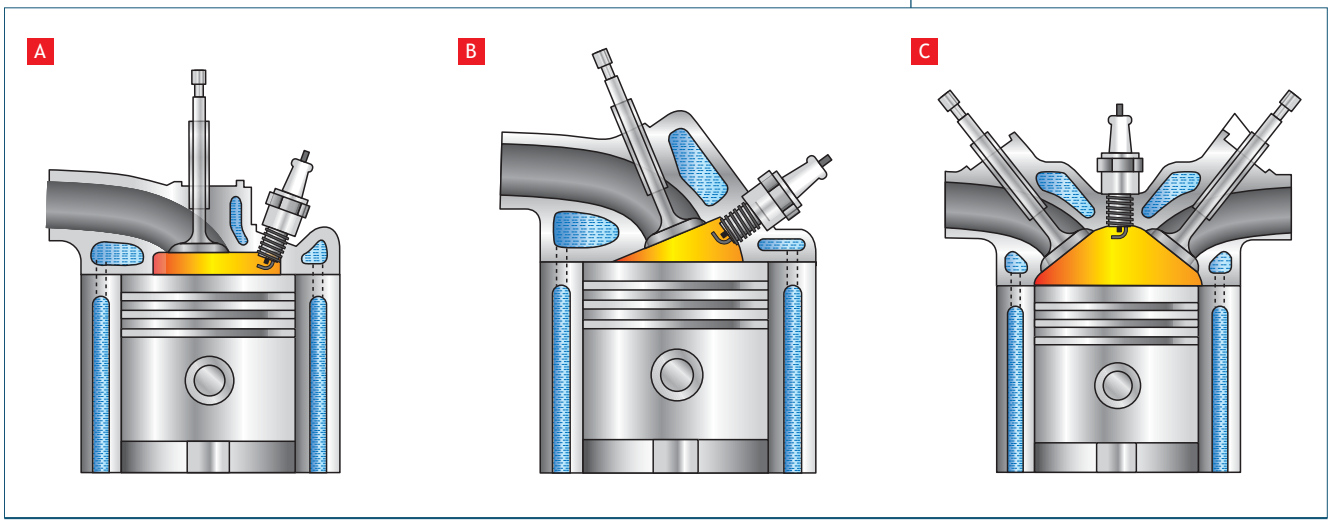
– **Cámaras en forma de bañera.** Son muy antiguas y ya están fuera de uso. La detonación era fácil que ocurriera, pues al final de la cámara quedaba gran cantidad de gasolina sin quemar que terminaba por detonar. Permitía grandes avances de apertura de la válvula de admisión y retraso de cierre de la válvula de escape, por tanto, poseía un alto rendimiento volumétrico.
– **Cámaras en forma de cuña.** Son menos detonantes que las anteriores, pues la parte final de la cámara es de reducidas dimensiones y queda poco combustible que pueda detonar, y porque crean alta turbulencia.
– **Cámaras hemisféricas.** Tienen forma triangular: la base del triángulo la constituye la cabeza del pistón y los dos lados serían las dos válvulas. Suele obligar a colocar dos árboles de levas, aunque solo haya dos válvulas por cilindro. Al tener la bujía en el centro, se disminuye la longitud que tiene que recorrer el frente de llama y además crean buena turbulencia, con lo que se disminuye bastante la detonación. Son usadas en la actualidad.

### Encendido superficial

El encendido superficial, erróneamente llamado autoencendido, se produce cuando en la cámara existe, igual que el autoencendido, un punto caliente que inflama la mezcla.

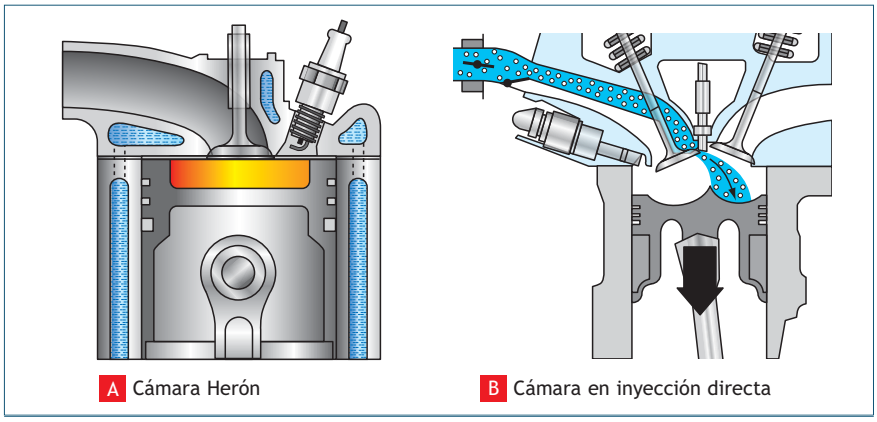
El encendido superficial sucede en los motores antiguos de carburación y se detecta al parar el motor porque sigue arrancado sin estar encendido, debido al punto incandescente en la cámara.

A Cámara en forma de bañera
B Cámara en forma de cuña
C Cámara hemisférica




**7.11.** Cámaras de combustión de gasolina: en forma de bañera, cuña y hemisférica.

– **Cámaras Herón.** Están escavadas en el pistón, quedando la culata plana. La bujía puede quedar centrada, reduciendo así la longitud que tiene que recorrer el frente de llama. Provocan gran turbulencia, reduciendo la detonación y la homogeneización del combustible.
– **Cámaras de inyección directa.** Este tipo de cámaras suelen estar divididas entre la culata y el pistón. La parte de la culata suele ser hemisférica y más pequeña de lo habitual. A la cámara del pistón se le da una forma para conseguir que pueda trabajar tanto con mezclas estratificadas (pobres y heterogéneas) como con mezclas estequiométricas y homogéneas. Cuando trabaja con mezcla estratificada, el pistón tiene un deflector que envía la parte más rica de la mezcla lo más cerca posible de la bujía, para que se inicie el frente de llama, dejando mezcla pobre en el resto. La turbulencia creada por el colector de admisión, más la forma de la cabeza del pistón, evitan que el combustible se acerque a las paredes de la cámara porque este se quema peor. Al trabajar con mezclas pobres puede existir mayor riesgo de detonación, pero esto queda solucionado por las fuertes y precisas turbulencias que se crean dentro de estas cámaras.




**7.12.** Cámaras de combustión de gasolina: Herón e inyección directa.

## 4.2 > Combustión en los MEC

Durante la admisión en motores de encendido por compresión solo se admite aire. Unos grados antes del PMS se inyecta el combustible a través de un sistema de inyección.

La primera parte del combustible inyectado en un ambiente de alta presión y temperatura se autoinflama, aumentando más aún estas, que hacen que el combustible que se sigue inyectando se combustione de forma ordenada y progresiva al entrar en la cámara. Esta combustión es más lenta y, teóricamente, aunque debería subir la presión por la combustión al estar bajando el pistón, dicha combustión se realiza teóricamente a presión constante.

> **El tiempo de retardo es el tiempo que transcurre desde que el combustible entra en la cámara hasta que se autoinflama. Cuanto mayor es el tiempo de retardo más cantidad de combustible habrá en la cámara y, por tanto, la combustión será más dura, produciendo más ruido y vibraciones.**

El tiempo de retardo depende de:

– **El grado de inyección.** Es la cantidad de combustible inyectado. A mayor grado de inyección, menor tiempo de retardo.
– **La temperatura.** A mayor temperatura exterior o interior, menor tiempo de retardo.
– **Las revoluciones.** A mayor número de revoluciones, mayor temperatura y menor tiempo de retardo.
– **La presión.** A mayor presión exterior o interior, menor tiempo de retardo.
– **La pulverización.** A mejor pulverización, menor tiempo de retardo.
– **El avance.** A menor avance, menor tiempo de retardo.
– **El número de cetano NC.** A mayor número de cetano, menor tiempo de retardo.
– **El rendimiento volumétrico.** A mayor rendimiento volumétrico, menor tiempo de retardo.
– **La forma de la cámara.** A mayor turbulencia, menor tiempo de retardo.

Son necesarias altas presiones y temperaturas para lograr elevadas relaciones de compresión y que el combustible se autoinflame, aproximadamente entre 16/1 y 23/1. Al existir mayor relación de compresión que en los motores de gasolina, los motores diésel tienen mayor rendimiento térmico y menor consumo de combustible. Las fuertes presiones deben ser compensadas a la hora de construir el motor diésel. Cuanto mayor turbulencia exista, más homogénea será la mezcla aire/combustible y mejor y más rápidamente se conseguirá quemar el gasóleo inyectado. Si la mezcla aire/combustible no es muy homogénea, habrá zonas donde no se haga bien la combustión y debido a las altas temperaturas se rompan los enlaces entre carbonos e hidrógenos del combustible, produciéndose carbonilla que sale por el escape. El humo negro que emite un diésel por el escape es carbón muy fino que no ha llegado a combustionar. La opacidad de los humos de escape se puede cuantificar midiéndolo con un opacímetro.

### Formas características de las cámaras en los MEC

**Lo primero que hay que distinguir es si se trata de un motor de inyección directa o indirecta. Los motores de inyección directa tienen la cámara escavada en el pistón y los de inyección indirecta la tienen escavada en la culata, llamándose precámara de combustión.**

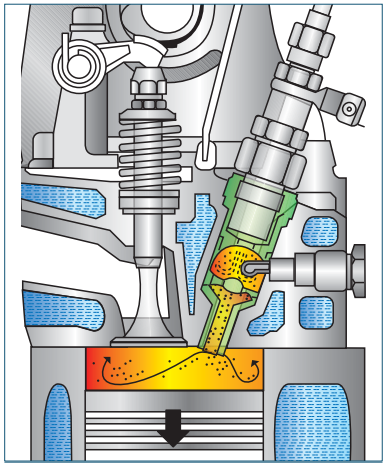
### Motores de inyección indirecta

Han sido los más comunes en los motores de turismos hasta hace unos años. Esto es debido a que los motores de inyección directa eran muy ruidosos y vibraban mucho, hasta que se consiguieron hacer inyectores que inyectaran en dos veces, una preinyección y después la inyección principal. Posteriormente, las gestiones electrónicas incluso hicieron motores de funcionamiento muy suave.

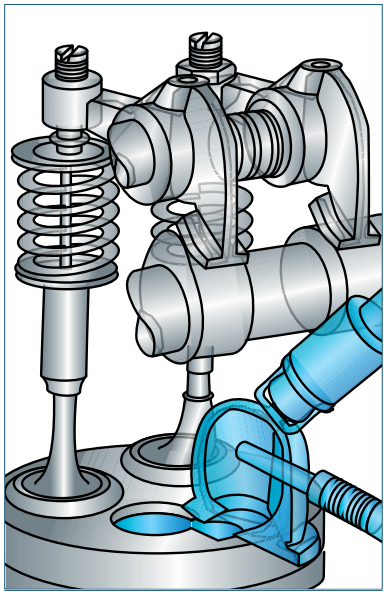
En las culatas de inyección indirecta, la cámara de combustión suele ir dividida en dos. La cámara más importante, por su volumen, se escava en la culata, llamada precámara de turbulencia, que comunica con el cilindro a través de un pequeño orificio, quedando sobre la cabeza del pistón una cámara con un volumen bastante pequeño.

### Picado diésel

El picado diésel es una combustión anómala en la que se produce un fuerte ruido debido a las altas presiones que se alcanzan en la cámara de combustión por un elevado tiempo de retardo. Suele suceder en motores bajos de compresión, en frío, a bajas vueltas, con bajo grado de inyección, como sucede a ralentí, pues todo esto aumenta el tiempo de retardo.
Puede suceder por otros factores que afecten al tiempo de retardo como el índice de cetano (NC), avance, etc. Por ejemplo, en los motores de inyección directa con gestión electrónica cuando se necesita mucho par a bajas vueltas se da mucho avance, apareciendo este fenómeno. Algunas gestiones electrónicas llevan un sensor de detonación para evitarlo.



**7.13.** Cámara de precombustión.

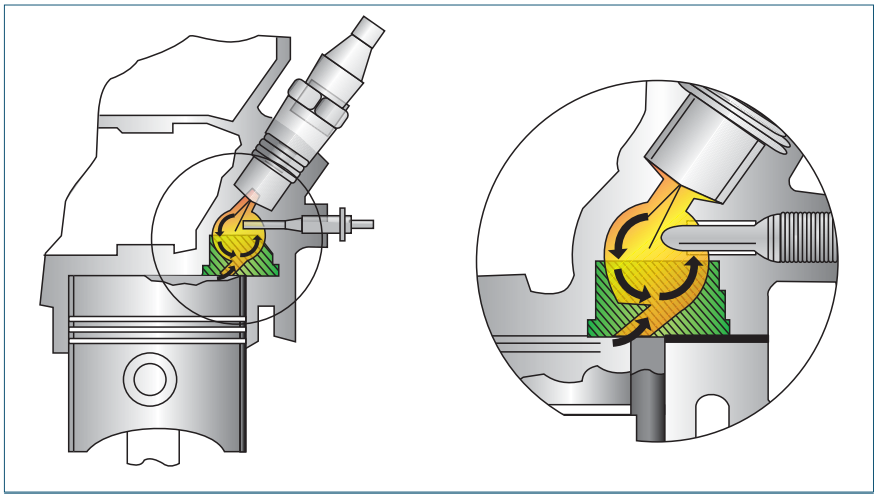


**7.15.** Cámara de turbulencia y forma típica del pistón.

**7.16.** Tapón de precámara.

Las más habituales son:

– **Cámara de precombustión** (figura 7.13). La precámara escavada en la culata está hecha con un inserto de acero que comunica con el cilindro, aproximadamente en el centro, a través de varios orificios pequeños. El aire entra del cilindro a la precámara con gran velocidad, que favorece la homogeneización, y sale al cilindro parte de la combustión sin haber terminado todavía, concluyendo su combustión en la pequeña cámara, sobre la cabeza del pistón. Dicha combustión es muy progresiva gracias a las fuertes caídas de presión en los orificios.
– **Cámara de turbulencia o precámara tipo Ricardo Comet** (figura 7.14). Esta precámara está escavada en la culata, descentrada respecto del cilindro. Va tapada con un tapón de acero que tiene practicado un orificio orientado hacia el centro del pistón, por donde entrará el aire y saldrá la presión de combustión (figura 7.15). También se produce una gran turbulencia al entrar el aire, ayudando de esta manera a la homogeneización del combustible y, por tanto, a la combustión. La combustión sale por el orificio produciéndose una caída de presión que hace que la combustión sea más suave, pero que resta rendimiento al motor.



**7.14.** Cámara de turbulencia tipo Ricardo Comet y detalle del tapón de la precámara.

El tapón de la precámara (figura 7.17) debe sobresalir ligeramente, o como mucho, quedar enrasado con la culata, para evitar que la junta de culata quede suelta y se pueda quemar.

### Motores de inyección directa

En este tipo de motores el combustible se inyecta en el cilindro, y la culata es totalmente plana al no tener escavada ninguna cámara, pues esta se encuentra situada en el pistón.

El inyector está situado en la culata, aproximadamente en el centro del cilindro (figura 7.18). La cámara escavada en el pistón busca generar en la compresión una gran turbulencia que mejore la homogeneidad del combustible con el aire, que disminuya el tiempo de combustión y evite que se quede combustible sin quemar.

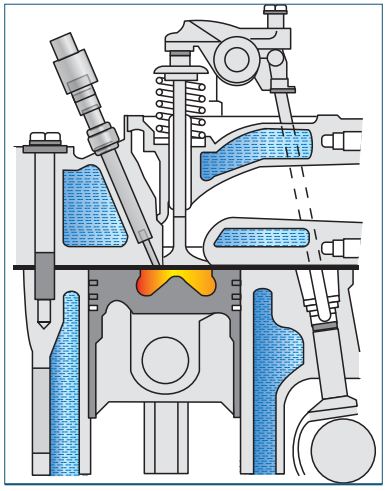
Las ventajas de la inyección directa frente a la indirecta son:

– Mejor rendimiento, es decir, mayores prestaciones y menor consumo.
– Menor contaminación.
– Mejor arranque en frío. Los calentadores los llevan para evitar la salida de gases contaminantes nada más arrancar y para arranques a temperaturas muy bajas.

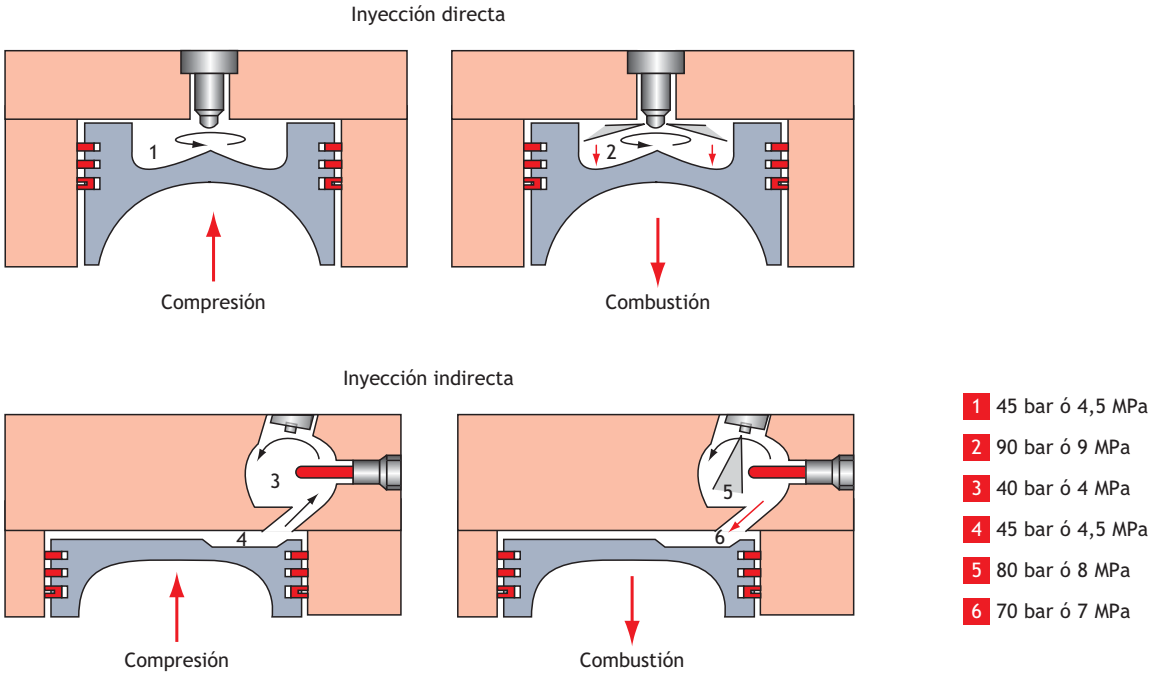
Los inconvenientes son un mayor coste de fabricación y reparación, y un aumento del ruido y de las vibraciones. Aunque estos dos últimos puntos en los motores de inyección directa con gestión electrónica, tipo *common rail* e inyector bomba, se han reducido a niveles de los motores de inyección indirecta, ganando muchísimo en suavidad de funcionamiento.

Estas ventajas son debidas a que al inyectar directamente en el cilindro y no tener que entrar el aire comprimido en la precámara por un orificio pequeño, nos evitamos esta caída de presión. Cuando se hace la combustión, se realiza directamente en el cilindro en vez de en la precámara, evitando que tenga que salir la combustión por el mismo pequeño orificio, produciendo de nuevo otra caída de presión (figura 7.18).

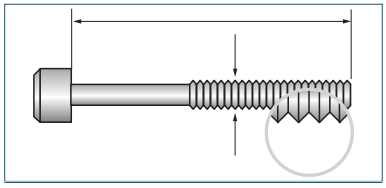
Estas caídas de presión, debidas al rozamiento producido por el movimiento de los gases de la cámara a la precámara y viceversa, se restan a la presión que empuja el pistón en la carrera de expansión, aprovechándose mejor la energía del combustible y consiguiendo mayor potencia, menor consumo y un mejor arranque en frío.



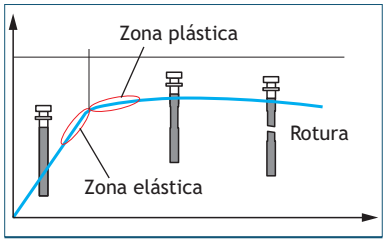
**7.17.** Cámara en el pistón para inyección directa.




**7.18.** Comparación entre inyección indirecta y directa en motores diésel.



**7.19.** Examen tornillos.




**7.20.** Deformación de los tornillos.

### Apriete angular

El apriete angular se realiza con tornillos elásticos. En el manual viene un pequeño par al que se deben apretar los tornillos previamente y luego uno o varios ángulos. Por ejemplo:

1. Apretar todos los tornillos de culata a 40 Nm (esto es para que todos partan de un mismo punto).
2. Apretarlos con un ángulo de 30°.
3. Apretarlos con un ángulo de 30°.
4. Apretarlos con un ángulo de 30°.

Quedará con un par de 40 Nm más un ángulo total de 90°.

Hay veces que hay que aflojar un ángulo determinado para luego volver a apretar más ángulos.

**7.21.** Apriete angular.

## 5 >> Tornillos de culata

**Los tornillos de culata se encargan de hacer una unión correcta entre bloque y culata, apretando la junta de culata entre estos con fuerza, para hacerlos estancos y que se soporten las combustiones durante un largo periodo de tiempo.**

Existen dos tipos de tornillos que se pueden montar en la culata:

– Tornillos rígidos.
– Tornillos elásticos o plásticos.

### Tornillos rígidos

Se utilizaban en motores antiguos. Solían tener cabeza hexagonal. Trabajaban con el apriete en su zona elástica y se apretaban al par especificado progresivamente. Necesitaban ser reapretados porque, en las primeras horas de marcha del motor, la junta cedía al asentarse y los tornillos perdían fuerza al estirarse.

Estos tornillos se pueden volver a usar después de un examen al no sufrir deformaciones permanentes (figura 7.19). En este examen se verifica la longitud, el diámetro y el estado de la rosca. Si todos ellos están en buenas condiciones, se limpian con un cepillo metálico para su posterior reutilización.

### Tornillos elásticos o de apriete angular

Se usan en todos los motores modernos. Suelen tener **cabeza de torx macho o hembra**, o **allen**. Llevan un **pequeño apriete a par** para que todos los tornillos partan de un mismo punto y posteriormente **se aprietan a un ángulo determinado** de manera progresiva. Esto consigue que aunque haya mayor resistencia al giro en un tornillo que en los demás, todos queden igual de apretados.

Esta forma de apriete y los materiales de los que están construidos, los hace trabajar en su zona plástica (figura 7.20). La junta que se monta con estos tornillos no necesita reapriete, pues los tornillos trabajan como una goma que, al asentarse la junta, los tornillos absorben el espesor que haya cedido. Este tipo de tornillos **deben ser sustituidos** en cada montaje (salvo que indique lo contrario el fabricante) pues sufren deformaciones permanentes, generalmente por el alargamiento debido al material del que están hechos, el tipo de apriete y a la fatiga a la que son sometidos durante su vida en el motor.

Todo esto hace que, una vez desmontados, no tengan idénticas características a los originales en un nuevo montaje. Si se vuelven a montar se corre el riesgo de partir alguno o dejar suelta la culata provocando daños importantes. Cuando se aprieta un tornillo nuevo con apriete angular parece que el tornillo no se aprieta y que se va a romper, porque los tornillos están diseñados y fabricados con unas formas y metales más dúctiles para facilitar que se estiren. Los estiramientos oscilan entre los 2 y 6 mm, aunque podrían llegar a los 20 mm antes de que se rompan. El apriete angular consiste en apretar los tornillos girándolos un ángulo determinado, sin tener en cuenta el par.

El apriete o ángulo se hace con un goniómetro que queda fijado por medio de un flexible que en su extremo tiene un imán (figura 7.22). El goniómetro se intercala entre el vaso o prolongador que utilicemos y la llave dinamométrica, pues tiene generalmente una raíz macho de media pulgada hacia abajo y otra hembra hacia arriba. Se coloca a cero el goniómetro y se aprieta hasta conseguir el ángulo buscado.

Estos tornillos de apriete angular tienen la ventaja de dar un apriete más uniforme y que todos ejercen la misma presión. Además, no tienen en cuenta el par resistente de las distintas roscas, debido a rozamientos distintos.

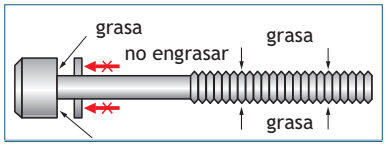
No existe relación alguna entre par de apriete y ángulo de giro. Esto se debe a que cada tornillo tiene unos rozamientos que hacen que el par necesario para dar un mismo giro a los diferentes tornillos de una culata sea diferente.

Los tornillos deben ser engrasados antes de montarlos con grasa que resista altas temperaturas como la de cobre. Se engrasa ligeramente su rosca y debajo de la cabeza nunca se debe engrasar bajo su arandela, pues al girar el tornillo haría que girase también esta, que es de acero, sobre el aluminio de la culata, arrancándole material (figura 7.23). No es conveniente usar aceite para engrasar, pues el aceite va degradándose hasta perder sus características lubricantes por las altas temperaturas, siendo esta la razón por la que cuando se levanta una culata es frecuente oír un ruido o chasquido al aflojar los tornillos. Estos ruidos no son ni más ni menos que microgripajes que el aceite degradado produce en las roscas, haciendo aumentar la fricción y llegando incluso a deteriorar algún hilo de rosca. Los tornillos que se deben sustituir vienen en juegos completos con una arandela, con una bolsita de grasa y las instrucciones de apriete para cada motor.

A la hora de **desmontar la culata** debemos hacerlo con el motor totalmente frío. Para aflojar los tornillos de la culata seguiremos el orden que indica el fabricante o en su defecto aflojaremos siempre de fuera hacia dentro, en espiral o en cruz (figura 7.24).

Al **montar la culata** el orden de apriete también debe ser como indique el fabricante, y en su defecto se debe apretar del centro hacia fuera en espiral (figura 7.25), o en cruz, para que la junta se vaya estirando desde el centro hacia fuera y pueda sobresalir por los extremos sin que se produzcan arrugas.

**7.22.** Goniómetro.

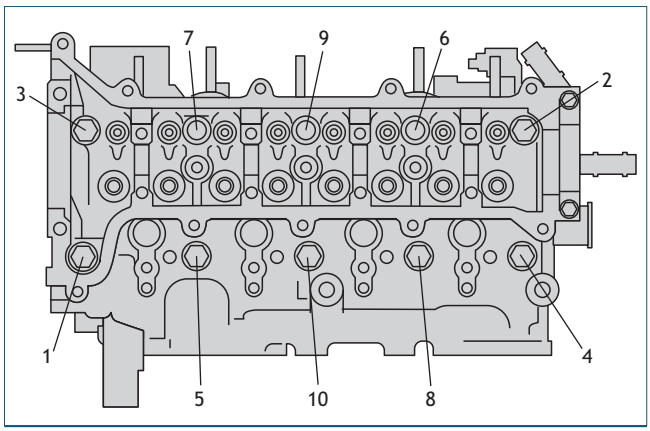



**7.23.** Engrasado de los tornillos.

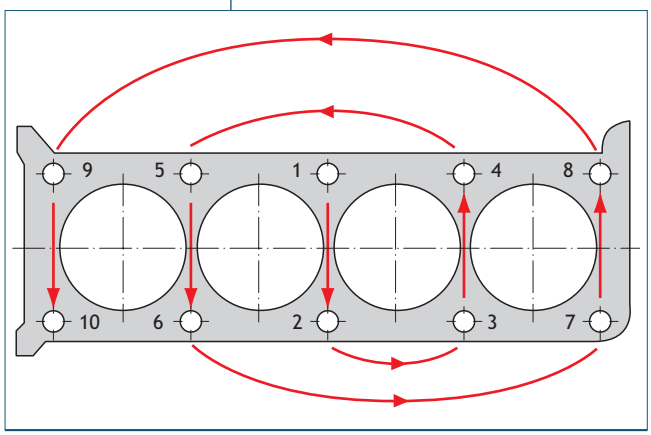
## Apriete a par

El apriete a par se realiza con tornillos que no son elásticos. El par se suele repartir y apretarse en dos o tres tandas. Normalmente viene expresado en daNm, Nm o kgm. Las equivalencias entre estas unidades son:

| | | |
|---|---|---|
| 1 Nm | 0,1 daNm | 0,098 kgm |
| | | ≈ 0,1 kgm |
| 1 daNm | 10 Nm | 0,98 kgm |
| | | ≈ 1 kgm |
| 1 kgm | 10,20 Nm | 1,02 daNm |
| | ≈ 10 Nm | ≈ 1 daNm |




**7.24.** Orden de aflojado de culata en cruz.




**7.25.** Orden de apriete de culata en espiral.

## 6 >> Junta de culata

**La junta de la culata es el elemento situado entre el bloque y la culata. Se encarga de hacer la estanqueidad de la combustión y de los líquidos refrigerante y lubricante.**

Antiguamente se fabricaban con una lámina de cobre entre dos láminas de cartón de amianto comprimido con arandelas de cobre, embutidas en los diferentes pasos de agua y con aros de acero en los agujeros de los cilindros. Con el tiempo se fue sustituyendo el cobre por acero en la lámina intermedia, incorporando tratamientos químicos superficiales como el grafitado, para hacerla antiadherente, e impregnaciones por inmersión en medio de líquido para el sellado microscópico en las láminas de amianto para asegurar la estanqueidad. Más tarde, se empezaron a sustituir las arandelas metálicas en los pasos por cordones de serigrafía y se emplean sustancias químicas a base de silicona para eliminar el grafitado superficial. Las superficies en la actualidad van tratadas química y térmicamente.

En las últimas décadas, se han sustituido las láminas de amianto debido a la prohibición de su uso, motivado por los problemas medioambientales y de salud que estas podían provocar. Los materiales alternativos están basados también en fibras minerales o sintéticas, como fibras de vidrio, fibras de aramidas, elastómeros, etc. (figura 7.26).

**Amianto**

Las fibras de amianto representan un serio peligro para la salud, pudiendo causar enfermedades muy graves y mortales como cáncer de pulmón. Por ello, su uso está prohibido en la actualidad.

**7.26.** Junta de culata de fibra.

**7.27.** Junta de culata tipo metálica.

La última tecnología son las juntas de culata metálicas, que consiste en varias láminas de acero recubiertas con una fina película de caucho, con lo que se necesita una menor presión de cierre entre la culata y el bloque (menores pares de apriete) además de alta resistencia a la temperatura, lo que permite mayor duración (figura 7.27).

La presión con estas juntas no es uniforme, sino que es selectiva y en zonas críticas hay mayor presión. Esto se consigue con un corrugado que lleva en su interior la junta de culata en esas zonas. Uno de los pocos inconvenientes es que los planos a estanqueizar tienen que tener menor rugosidad que con otro tipo de juntas.

En los motores bimetálicos, por ejemplo con bloque de fundición y culata de aluminio, las dos partes a unir están fabricadas con metales distintos. En este caso, la dilatación térmica de cada metal será diferente, provocando esfuerzos mecánicos que debe absorber la junta. El material de junta puede a menudo ablandarse o expandirse, lo que puede provocar una pérdida de apriete. Por último, a elevadas temperaturas el material de junta puede quemarse o los tornillos perder tensión.

Desde el punto de vista químico, los elementos de una unión mecánica no deben ser atacados por su entorno ni por el fluido estanqueizado. Una junta de culata debe resistir los efectos de sustancias como la gasolina, agua con anticongelante, aceite, etc.

La junta de culata debe estanqueizar presiones que superen 40 veces la presión atmosférica en motores de gasolina y 90 veces la presión atmosférica en los motores diésel turboalimentados. Las temperaturas de las combustiones se elevan por encima de los 2 000 °C en algunos momentos.

El flujo de líquido de refrigeración tiene que estar estanqueizado entre el bloque y la culata. Los líquidos anticongelantes pueden atacar el material de la junta de culata. Los agujeros por donde pasa el fluido refrigerante a través de la junta de culata están debidamente diseñados para evitar cualquier problema, permitiendo un flujo óptimo de dicho líquido hacia todos los cilindros. Se debe estanqueizar el flujo de aceite a alta temperatura y presión entre el bloque y la culata.

La junta de culata lleva practicados orificios para el paso de refrigerante. Estos orificios son taladros calculados para regular el caudal de paso y así, por ejemplo, los que se encuentran en los cilindros más alejados a la bomba de agua serán mayores que los más próximos a esta.

Práctica 3

Práctica 4

Práctica 5

## 7 >> Averías en las culatas y sus juntas

Algunas averías en el motor, como pérdidas de compresión, paso de fluidos de un circuito a otro, etc., pueden ser debidas a deterioros en la misma culata, en su junta o, incluso, en los tornillos de unión. Estas pueden producir pérdidas de rendimiento, aumentos de temperatura y consumos excesivos de fluidos. Por ello puede llegar a ser necesario desmontar la culata.

Las **averías más frecuentes en culata** suelen ser:

– **Defecto de planitud de la zona de unión al bloque.** Si no hay planitud no es posible hacer la estanqueidad a través de la junta. Es común que se produzca por un calentamiento excesivo, provocado por un problema en la junta o en el circuito de refrigeración. A veces, puede ser debido a un mal desmontaje, aflojado de la culata cuando todavía está caliente, o a un alargamiento o aflojado de los tornillos de culata. Esta falta de planitud o alabeo se puede corregir planificando con una máquina especial que la dejará plana a base de comer material. La cantidad máxima que se puede planificar viene en el manual de taller. Muchas culatas modernas no admiten planificado.
– **Defecto en la rugosidad de acabado del plano de la junta.** Cuando se montan juntas de culata de tipo metálico, las culatas deben estar muy

planas y tener un acabado superficial mejor que cuando la junta a montar es de tipo sándwich. Este problema se produce al planificar con cuchillas inadecuadas o por un avance de máquina mayor del necesario. La solución es volver a planificar para reducir la rugosidad si la culata lo permite.

**7.28.** Culata rajada entre las válvulas.

– **Poros o grietas en la culata.** Si existen poros o fisuras que comunican la cámara con algún circuito que lleva fluido hay intercambio entre estos. Las grietas también pueden estar hacia las precámaras en los diésel o incluso cerca de los colectores, habiendo también paso de fluido de un circuito a otro. A veces se crea una grieta entre los dos asientos de las válvulas, pero si no sale ningún fluido por esta, se puede volver a montar la culata (figura 7.28). Estas fisuras están provocadas, casi siempre, por cambios bruscos de temperatura y se producen en zonas débiles, como en los rechupes de material producidos en la fundición o en zonas que en el diseño se han dejado con paredes muy finas.

– **Carbonilla en cámara y colectores:** acumulación de residuos de la combustión. En los motores otto de inyección indirecta es muy típica la carbonilla de gasolina carbonizada, debido a las altas temperaturas existentes en los colectores de admisión, sobre todo en las inyecciones simultáneas. Esto provoca falta de estanqueidad en las válvulas de admisión y un ralentí inestable. Si esta falta de estanqueidad se mantiene durante mucho tiempo, podrá llegar a quemar válvulas. Cuanto más rica sea la mezcla o más aceite consuma el motor, mayor será la acumulación de carbonilla. Los motores de 2 tiempos producen más carbonilla al quemar más aceite.

– Se pueden producir más **defectos en las culatas** si se introducen objetos por la admisión, si se parte algún segmento o cordón superior en el pistón y entran en la cámara, si se rompe la correa de distribución y se pegan las válvulas con los pistones, doblando estas o partiendo los sombreretes del árbol de levas, etc.

**7.29.** Junta de culata fogueada entre cilindros.

Las averías más corrientes en las juntas suelen ser:

– **Junta de culata quemada,** entre dos cilindros, con destrucción de los anillos (figura 7.29).

– **Junta de culata quemada o rota, entre un cilindro y uno o varios pasos de refrigerante.** En este caso entra refrigerante al cilindro aumentando muchísimo la presión, pues el refrigerante es un fluido líquido y, como tal, no se puede comprimir. Puede producir serios daños, como agujerear el pistón o incluso doblar una biela si entra en gran cantidad. Se produce la limpieza de carbonilla del cilindro y cámara al quemar también refrigerante. Parte de la combustión escapará al circuito de refrigeración y creará sobrepresión, que tirará por el tapón del vaso de expansión, y bolsas de aire muy calientes procedentes de la combustión que aumentan la temperatura del motor.

**7.30.** Junta de culata fogueada por precámara rehundida.

– **Junta de culata quemada en la zona de alguna precámara,** debido al rehundimiento del tapón de la precámara (figura 7.30).

– **Junta de culata quemada o rota entre el conducto de aceite y otro conducto de refrigerante.** Cuando ocurre esto, se mezcla refrigerante y aceite, creando una pasta en el circuito de refrigeración que se pega a las paredes y que impide la refrigeración correcta. Además entra agua al aceite, disminuyendo su capacidad de lubricación.

El origen de casi todas estas averías será un exceso de temperatura del motor, producida por:

– Fallos en el circuito de refrigeración.
– Falta de apriete de los tornillos o estirado de estos.
– Junta de culata que cede en exceso, aflojándose con el paso de los kilómetros.
– Falta de planitud o rugosidad inadecuada de la junta.
– Tapones de precámaras hundidos respecto del plano de la culata.
– Camisas húmedas hundidas respecto al plano de la junta.
– Detonación.
– Refrigerante de calidad inadecuada, etc.

## 8 >> Verificaciones en una culata

En una culata hay que hacer distintas verificaciones, así como en el conjunto bloque pistón, antes de montarla. En este apartado vamos a ver todas las verificaciones que se deben hacer en la culata y fuera de la misma, para un montaje correcto.

### Técnica

#### Limpieza del plano de la culata y del bloque

•• La limpieza y descarbonización se realiza con líquido descarbonizante sin olor y con un rascador. El rascador será metálico, si el bloque es de fundición, y será de plástico o madera, si el bloque o la culata son de aluminio.

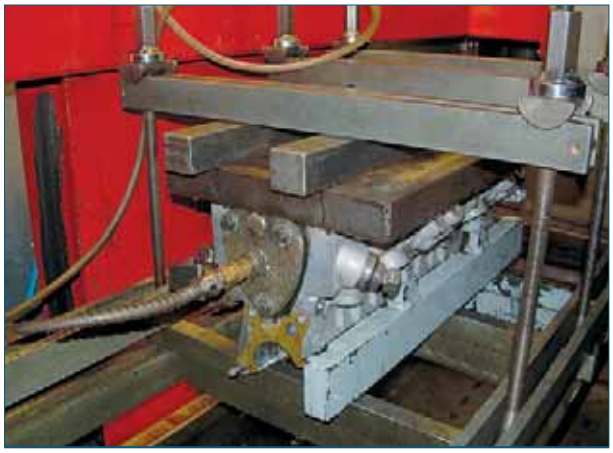
### Técnica

#### Verificación de poros y fisuras de la culata

•• Si entrara refrigerante al interior de algún cilindro (figura 7.31), o se escapara compresión al circuito de refrigeración, y al desmontar la junta no se ve por dónde lo hace, habrá que llevar la culata a verificar a un taller de mecanizado, para ver si existe alguna grieta o fisura.

**7.31.** Cilindro en el que ha quemado agua.

>>



**7.32.** Preparación de la culata para una prueba de estanqueidad.

Para ello, se desmonta la culata, el árbol de levas, las válvulas, precámaras, etc., se tapan todos los orificios del circuito de refrigeración con tapones estancos y en uno de estos tapones se coloca una válvula por la que se puede introducir aire al circuito de refrigeración (figura 7.32).

Posteriormente, se introduce la culata en un recipiente con agua a 70°C y se deja un rato para que coja la culata la temperatura adecuada. Si tiene alguna grieta o poro se abrirá al dilatarse y se introducirá aire a presión. Si se ve que salen burbujas de aire por algún sitio de la culata es que tiene algún poro o fisura. En este caso la culata no se puede reutilizar.

## Técnica

### Comprobación de la altura, paralelismo y planitud de la culata y del bloque

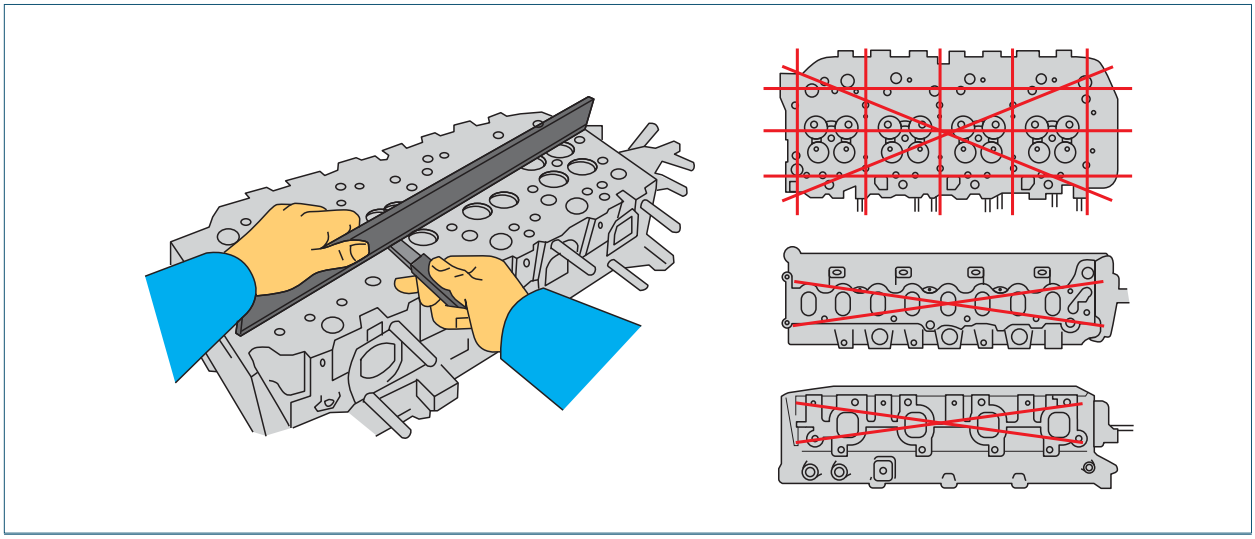
•• Es conveniente comprobar la altura de la culata en distintos puntos con un calibre (figura 7.33) y ver la diferencia entre la mayor y la menor medida. Esta diferencia no debería superar una décima de mm, pues en tal caso tendremos problemas de paralelismo. Además, hay que comprobar que la menor medida coincide con la medida nominal que indique el fabricante. Hay que revisar también que se mantiene la planitud del bloque y culata por el plano de junta y por el plano de los colectores. Para ello se usa una regla especial con un canto afilado, se va colocando sobre los planos de la culata o bloque de forma longitudinal en tres medidas, incluida una en la zona más estrecha entre los cilindros; en forma diagonal dos medidas, y transversalmente una a cada lado de los cilindros, mientras se intenta introducir la galga más fina (figura 7.34), que generalmente medirá 0,05 mm. Si conseguimos introducirla, hay que ir probando con galgas más gruesas hasta que no entren. La medida de la última galga que entró será aproximadamente lo que haya que planificar la culata o bloque. Para medir el plano de alojamiento de colectores bastará con hacer dos medidas diagonales.

**7.33.** Medición de la altura de la culata.

Las deformaciones máximas que se suelen permitir en culatas están en función del tipo de medida y del número de cilindros que aloje la culata. La tabla de la página siguiente resume el tamaño de dichas deformaciones en motores de 3, 4 y 6 cilindros.

La máxima deformación que se puede dar en los planos de los colectores suele ser de una décima de mm.

| | 3 cilindros | 4 cilindros | 6 cilindros |
|---|---|---|---|
| Longitudinal y diagonal | 0,07 mm | 0,10 mm | 0,15 mm |
| Transversal | 0,05 mm | 0,05 mm | 0,05 mm |



**7.34.** Verificación de la planitud de la culata.

## Técnica

### Comprobación de la rugosidad del plano de la culata

•• La rugosidad también es importante, sobre todo en las juntas de culata metálicas, pues si se ha usado una cuchilla o avance inadecuado a la hora de planificar no se podrá hacer bien la estanqueidad con este tipo de junta aunque todo lo demás esté bien. Esto se realiza colocando un rugosímetro sobre la superficie a verificar y ver si está dentro de tolerancias (figura 7.35).

La rugosidad está en función del tipo de junta a montar y del material de la culata.

**7.35.** Verificación de la rugosidad del plano de la culata.

| | Junta metálica de acero (especiales) | Junta sándwich (corrientes) |
|---|---|---|
| Aluminio | 0,5/1 µm máx. | 2,3 µm máx. |
| Fundición | 1,5/1,8 µm máx. | 3,8 µm máx. |

## Técnica

### Comprobación del sobrepaso de las camisas húmedas respecto del bloque

•• Se realiza con un reloj comparador y con un soporte especial. Hay que colocar el soporte del reloj comparador en el plano del bloque y el palpador del reloj sobre el mismo plano, en ese momento ajustarlo a cero (figura 7.36). Después, debemos levantar el palpador del reloj y desplazar el soporte hasta que dicho palpador quede sobre una camisa y en ese instante dejarlo apoyar con cuidado sobre esta y anotar la diferencia: esta será el sobrepaso (figura 7.37). Realizar la medición en los puntos que indique el manual.

**7.36.** Ajuste a cero del reloj para medir el sobrepaso de camisas húmedas.

**7.37.** Medición del sobrepaso de camisas húmedas.

## Técnica

### Comprobación de las precámaras o antecámaras y de su sobrepaso sobre el plano de la culata en los diésel de inyección indirecta

•• En las culatas de motores diésel de inyección indirecta hay que asegurarse que las precámaras o antecámaras no estén rajadas; si lo estuvieran habría que sustituirlas. La comprobación se realiza con un reloj comparador y un soporte especial. Tenemos que colocar el soporte del reloj comparador en el plano de la culata y el palpador del reloj sobre el mismo plano, en ese momento hay que ajustarlo a cero (figura 7.38). Después, levantar el palpador del reloj y desplazar el soporte hasta que dicho palpador quede sobre la precámara o antecámara, para dejarlo apoyar con cuidado sobre esta y anotar la diferencia: este será el sobrepaso (figura 7.39). Si no está dentro de la tolerancia, se tiene que cambiar en las antecámaras la arandela que haya por otra del espesor adecuado. Si es una precámara, hay que rectificar el asiento en la culata, en el caso de que tenga mucho sobrepaso; si el sobrepaso es menor que el especificado, tenemos que sustituir la antecámara o planificar la culata.

**7.38.** Ajuste a cero del reloj para medir el sobrepaso de precámaras.

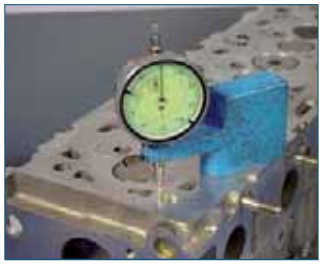
**7.39.** Medición del sobrepaso de precámaras.

## Técnica

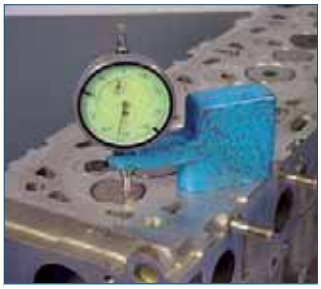
### Comprobación del sobrepaso o hundimiento de las válvulas sobre el plano de la culata en los motores diésel

•• En los motores diésel, las válvulas suelen quedar aproximadamente a la misma altura que el plano de la culata. Pero si se rectifica el plano, habrá que rectificar también los asientos y luego comprobar si el sobrepaso o hundimiento de las válvulas ha quedado situado dentro de tolerancias respecto al plano. Se realiza con un reloj comparador y un soporte especial.

Hay que colocar el soporte del reloj comparador en el plano de la culata y el palpador del reloj sobre el mismo plano; en ese momento ajustarlo a cero (figura 7.40). Después, levantar el palpador del reloj y desplazar el soporte hasta que dicho palpador quede sobre la válvula a medir, apoyándolo con cuidado sobre esta para anotar la diferencia: esta será el sobrepaso o el hundimiento, según el sentido de la aguja del reloj (figura 7.41).



**7.40.** Ajuste a cero del reloj para medir sobrepaso de válvulas.



**7.41.** Sobrepaso de válvulas.

## Técnica

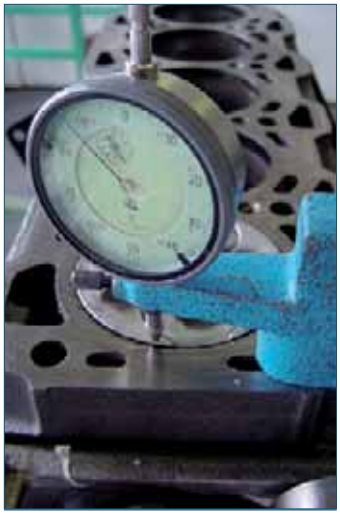
### Comprobación del sobrepaso de los pistones sobre el plano del bloque en los motores diésel

•• Se realiza con un reloj comparador y un soporte especial. Tenemos que colocar el soporte del reloj comparador en el plano del bloque y el palpador del reloj sobre el mismo plano para ajustarlo a cero (figura 7.42).

Después, levantar el palpador del reloj y desplazar el soporte hasta que dicho palpador quede sobre el pistón; en ese instante dejarlo apoyar con cuidado sobre este, y anotar la diferencia: esta será el sobrepaso (figura 7.43).

Ver en el manual en qué parte de los pistones se debe medir, y el número de medidas a realizar por pistón. Esta medida sirve para calcular qué espesor de junta de culata debemos montar en ese motor diésel.

**7.42.** Ajuste a cero del reloj para medir sobrepaso del pistón.



**7.43.** Sobrepaso del pistón.

Suelen existir de tres a cinco espesores y el manual de taller dice, en función del sobrepaso máximo del pistón, qué espesor debemos pedir. Los distintos espesores vienen marcados en las juntas con unas muescas o con unos taladros. No siempre a mayor espesor le corresponde mayor número de muescas.

## 9 >> Reparaciones de una culata

La reparación más frecuente de la culata es realizar una planificación después de haber sufrido alabeo por un calentamiento. Para llevar a cabo esta reparación, previamente hay que ver la altura de la culata y comprobar si se ha planificado anteriormente (mirar en el manual cuánto es el máximo planificado y el alabeo que tiene). Con estos datos sabremos si la culata es factible de ser planificada, teniendo en cuenta los siguientes datos:

Altura nominal de la culata – altura actual = medida planificada
Medida de la culata con las galgas = medida a planificar
Medida planificada + medida a planificar = medida de planificación total

Una vez obtenidos y analizados estos datos, se debe comparar la medida de planificación obtenida con la máxima permitida por el manual: si es menor o igual, se puede planificar y si es mayor no se puede planificar.

**7.44.** Culata en proceso de planificación.

El planificado consiste en colocar la culata en la planificadora con el plano hacia arriba sobre unos soportes especiales que mantienen la culata bien sujeta y nivelada en la bancada. La máquina tiene un cabezal que puede portar cuchillas o muelas. Las cuchillas se usan para culatas de aluminio y fundición, y las muelas solo se usan en culatas de fundición. Se coloca la cuchilla adecuada, se arranca el cabezal, este irá girando a la vez que se desplaza linealmente, y se va bajando para aproximarlo lentamente hasta que empiece a quitar material de la culata en algún punto (figura 7.44). Ahora se apunta la medida de altura que tiene el cabezal para saber cuánto se ha planificado.

A continuación, hay que regular la velocidad de avance y el ataque de la herramienta e ir dando pasadas hasta que toda la superficie de la culata quede rectificada y perfectamente plana.

Si es una culata de un diésel de inyección indirecta, se desmontarán previamente las precámaras y al montarlas de nuevo sobresaldrán aproximadamente lo que sobresalían antes, más el planificado que se ha hecho. Ahora hay que rectificar en la culata el asiento de las precámaras mediante una fresadora.

**7.45.** Centrado de fresadora.

Después, se coloca la culata en la fresadora horizontal y firmemente, se centra muy bien el cabezal con un reloj comparador (figura 7.45). Se coloca la cuchilla adecuada y se baja hasta que empiece a comer material del asiento. Se avanza poco a poco, se retira la herramienta y se prueba la precámara que se vaya a montar midiendo su sobrepaso: así hasta conseguir el sobrepaso que indique el manual. Hacer lo mismo con el resto de alojamientos y precámaras.

Se pueden insertar roscas postizas (helicoil) en caso de tener alguna dañada.

## Actividades finales

1·· ¿Por qué hay que medir lo que sobresale una precámara de la culata?

2·· ¿Qué materiales se emplean para la fabricación de culatas?

3·· Enumera las ventajas de la inyección directa frente a la indirecta.

4·· ¿Qué es la detonación?

5·· ¿Qué porcentaje de oxígeno hay en la atmósfera?

6·· ¿De qué factores depende la velocidad media del frente de llama?

7·· ¿Qué es el autoencendido?

8·· Si al medir la altura de la culata en diferentes puntos se obtienen diferencias mayores de una décima de mm, ¿qué problema tiene esa culata?

9·· ¿En función de qué factores se determina si hay que reapretar, o no, una culata?

10·· ¿Por qué motivo en algunos motores se colocan dos bujías por cilindro?

11·· ¿Qué factores afectan a la detonación?

12·· Los tornillos elásticos, ¿se pueden volver a montar?

13·· ¿Qué precauciones más importantes hay que tener a la hora de montar una junta de culata metálica?

14·· ¿Qué hay que hacer para elegir el espesor de una junta de culata de un motor diésel?

15·· ¿Cuáles son las cámaras de combustión en motores otto en la actualidad?

16·· ¿A qué es debido que emitan humo negro los motores diésel cuando se acelera?

17·· ¿Qué es el tiempo de retardo en un diésel?

18·· ¿En qué orden debe apretarse una culata? ¿Por qué?

19·· ¿Qué útil se usa para dar el apriete angular?

20·· Si se planifica una culata de un diésel de inyección indirecta, ¿qué habrá que hacer con el sobrepaso de las precámaras?

## Caso final

### Cálculo de la relación de compresión

•• Entra un vehículo al taller por problemas de calentamiento y se le diagnostica comunicación entre uno de los cilindros y el circuito de refrigeración a través de la junta de la culata (figura 7.46).

**7.46.** Diagnóstico de problemas en la junta de la culata.

Se desmonta la culata y ves que el diagnóstico fue correcto (figura 7.47), se comprueba su planitud, viendo que está deformada, con lo que procedes a su planificado, quitándole a la culata 0,35 mm.

Antes de montar la culata debes saber:

a) ¿Cuánto va a aumentar la relación de compresión $R_c$?
b) ¿Qué problemas originaría una $R_c$ muy elevada?
c) ¿Cómo se podría solucionar?

**7.47.** Junta de culata quemada y cilindro en el que ha entrado refrigerante.

**Solución ••** Para resolver el caso práctico, deben tomarse ciertas medidas del motor. En este caso concreto, los datos del motor son:

- Diámetro del cilindro: d = 80 mm = 8 cm
- Carrera: L = 92 mm = 9,2 cm
- Volumen original de la cámara: $V_c = 57\ cm^3$

La junta de culata que se va a montar tiene el mismo espesor que la que llevaba.

Una vez recopilados estos datos, debes proceder de la siguiente manera:

1. Calcula la relación de compresión $R_c$ que tenía antes de la planificación de la culata:

$$V_u = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{3{,}14 \cdot 8^2}{4} \cdot 9{,}2 = 462{,}2\ cm^3$$

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c} = \frac{462{,}2 + 57}{57} = 9{,}1/1$$

2. Mide el volumen de la cámara después del planificado (figura 7.48). Para ello coloca la culata bien horizontal con sus válvulas y la bujía. Coloca una placa de metacrilato con un taladro y llena con líquido de frenos una probeta graduada, vertiendo el líquido por el agujero del metacrilato y llenando la cámara hasta que veas una pequeña burbuja de aire que va disminuyendo su tamaño hasta que queda del diámetro del agujero.

Debes restar al volumen de la probeta original el que queda ahora y, de esta menera, obtienes el volumen actual de la cámara:

$V_c$ = Volumen de la probeta inicial — Volumen de la probeta ahora

$V_c = 100 - 44{,}65 = 55{,}35\ cm^3$

3. Calcula la relación de compresión actual con el nuevo volumen de la cámara:

$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$

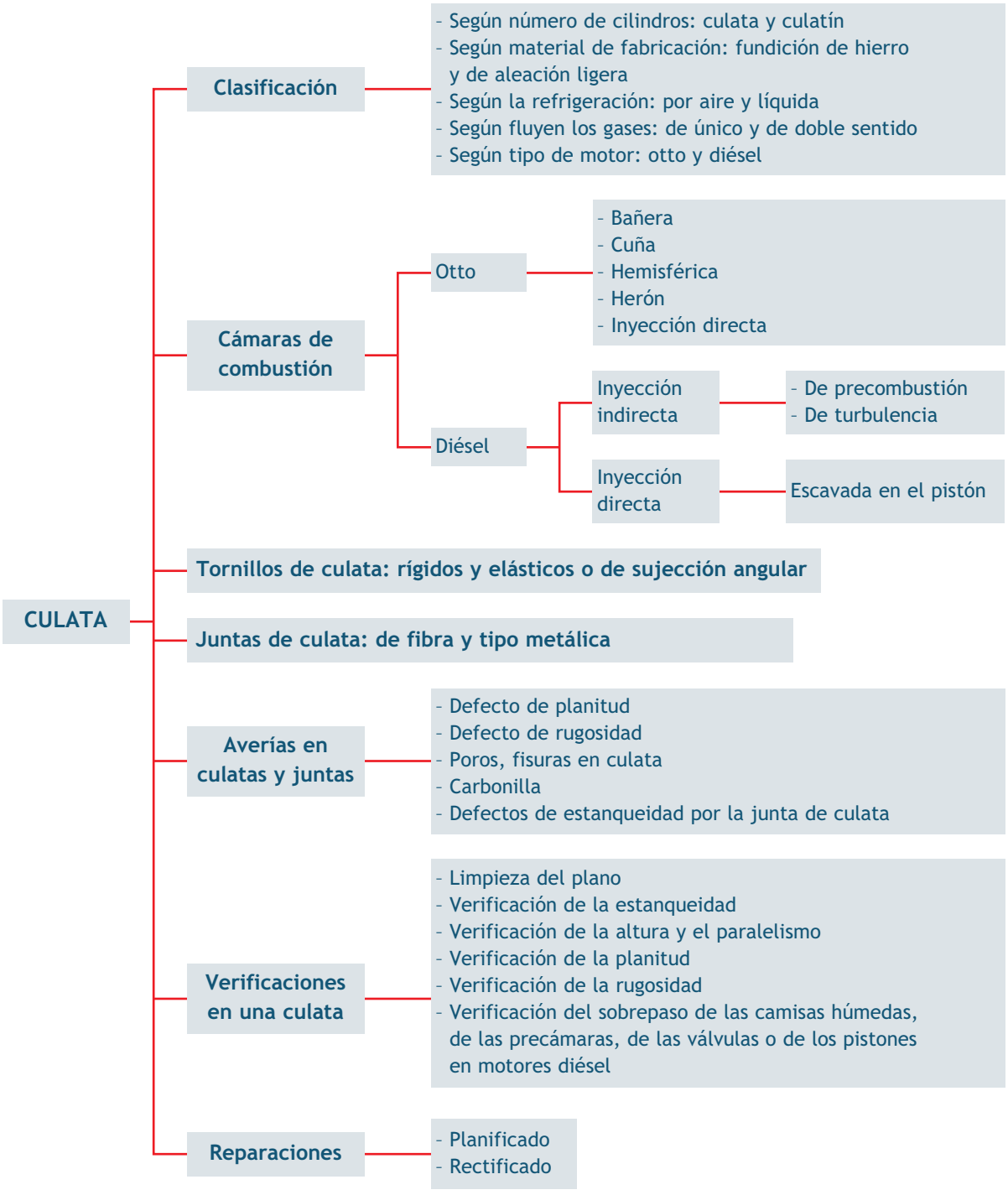
$$R_c = \frac{462{,}2 + 55{,}35}{55{,}35} = 9{,}35/1$$

Por tanto, la respuesta a las preguntas planteadas son las siguientes:

a) La relación de compresión $R_c$ pasa de 9,1/1 a 9,35/1. Esta variación de relación de compresión es admisible.
b) Una relación de compresión muy elevada producirá problemas de detonación. Esto provoca calentamiento excesivo y deterioros en el motor.
c) En caso de ser muy grande el aumento de relación de compresión se podría compensar con una junta de culata con mayor espesor para conseguir la relación de compresión original.

**7.48.** Medida del volumen de la cámara.

## Ideas clave


CULATA
Clasificación
- Según número de cilindros: culata y culatín
- Según material de fabricación: fundición de hierro y de aleación ligera
- Según la refrigeración: por aire y líquida
- Según fluyen los gases: de único y de doble sentido
- Según tipo de motor: otto y diésel
Cámaras de combustión
Otto
- Bañera
- Cuña
- Hemisférica
- Herón
- Inyección directa
Diésel
Inyección indirecta
- De precombustión
- De turbulencia
Inyección directa
Escavada en el pistón
Tornillos de culata: rígidos y elásticos o de sujección angular
Juntas de culata: de fibra y tipo metálica
Averías en culatas y juntas
- Defecto de planitud
- Defecto de rugosidad
- Poros, fisuras en culata
- Carbonilla
- Defectos de estanqueidad por la junta de culata
Verificaciones en una culata
- Limpieza del plano
- Verificación de la estanqueidad
- Verificación de la altura y el paralelismo
- Verificación de la planitud
- Verificación de la rugosidad
- Verificación del sobrepaso de las camisas húmedas, de las precámaras, de las válvulas o de los pistones en motores diésel
Reparaciones
- Planificado
- Rectificado

# COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES JUNTAS

La junta de culata multicapa metálica (MLS) tiene una composición totalmente distinta a la junta convencional de fibra.

La junta de fibra se compone de:

– Una lámina interior de acero perforada para dar resistencia y consistencia a la junta.
– Material de fibra a ambos lados de esta lámina.
– Arillos metálicos que soportan las grandes temperaturas y presiones de la cámara de combustión de los cilindros.

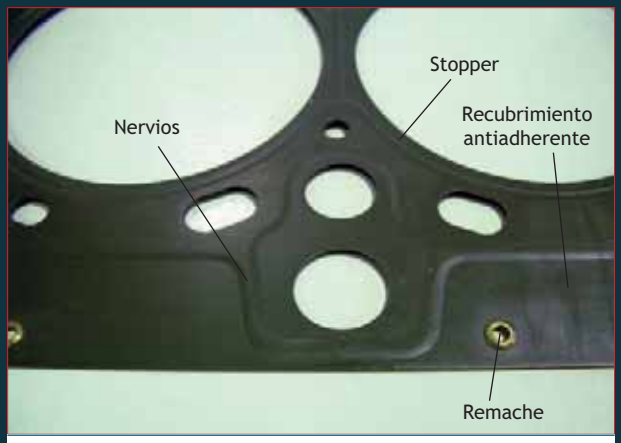
Por el contrario, la junta multicapa metálica (MLS) se compone en su totalidad de varias láminas de acero muelle inoxidable.

Las láminas exteriores poseen unos nervios sobre los que ejerce la fuerza de cierre de los tornillos. Estos nervios a su vez provocan el sellado de los líquidos en el motor imitando al cordón de silicona de las juntas de fibra. La lámina distanciadora le da rigidez a la junta al igual que la lámina interna perforada a las juntas de la fibra. Por último, la lámina stopper, el aro stopper o el stopper de silicona crean una sobrepresión en la zona de cierre de la cámara de combustión (arillos en las juntas de fibra) para sellado de gases. Todas estas propiedades son mejores que en las juntas de fibra debido a la resistencia del material metálico (acero) del que están compuestas las juntas multicapa metálicas (MLS).

Es una característica diferenciadora entre estos dos tipos de juntas, pero otra diferencia a la hora de su diseño, es la diferencia de la fuerza de cierre a suministrar por los tornillos. Es decir, la fuerza aplicada sobre una junta de fibra es superficial (sobre toda la superficie de la junta). Esto es debido a que el material de fibra necesita ser comprimido para garantizar el sellado al igual que los arillos. Por este motivo, la fuerza de cierre debe ser muy alta.

Por el contrario, una junta multicapa (MLS), gracias a los nervios de sus láminas exteriores, es capaz de suministrar una presión lineal justo en el punto donde se localiza el nervio, tanto para los líquidos como para el sellado de gases con la sobrepresión que se consigue con la ayuda de los stopper.

Por último, otra característica diferenciadora entre estos tipos de juntas es la estabilidad a la presión en ambas juntas. Debido a las propiedades físicas del acero muelle (gran dureza, buena plasticidad, resistencia a altas temperaturas y ataques químicos) superiores a los de la fibra, las juntas multicapa (MLS) son capaces de no deformarse apenas tras recibir la fuerza de cierre. Por este motivo los principales fabricantes de vehículos utilizan este tipo de juntas tanto en motores gasolina como en motores diésel.




**7.49.** Junta de culata metálica.

Para vehículos industriales se suele utilizar otro tipo de juntas metálicas con refuerzos de elastómero. Se componen de una gruesa lámina de acero con refuerzos de vitón en los pasos de aceite y refrigerante. El motivo de este diseño es mantener el volumen de la cámara de combustión para no aumentar la relación de compresión en el motor. Al ser una sola lámina gruesa no reduce apenas espesor.

Y recuerda comprobar la planitud y rugosidad de las superficies de culata y bloque cuando instales una junta de culata nueva.

Fuente: Ajusa
Junio 2004

unidad 8

# El bloque motor

## SUMARIO

- Constitución del bloque
- Formación de los cilindros en el bloque
- Cualidades de los cilindros
- Daños en los cilindros
- Averías del motor imputables al bloque
- Rectificados en el bloque

## OBJETIVOS

- Conocer el trabajo del bloque, su constitución, la formación y tipos de cilindros y tipología de los mismos.
- Estudiar las condiciones que deben reunir los cilindros, las causas de su desgaste y su influencia en el funcionamiento del motor.
- Comprender las averías ocasionadas en los cilindros.
- Analizar los resultados de las verificaciones para determinar una posible reparación, rectificado, sustitución del bloque o camisas.
- Conocer los procesos de rectificado y encamisado de cilindros.

## 1 >> El bloque motor

**El bloque es el elemento principal del motor. Es el esqueleto que sustenta todas las piezas y mecanismos necesarios para hacer funcionar el motor. Las principales propiedades que caracterizan al bloque son la solidez y la resistencia, lo que le permite soportar las fuerzas internas producidas por la explosión, y las torsiones debidas al giro del cigüeñal.**

El bloque tiene mecanizadas en su interior unas oquedades destinadas a alojar los cilindros del motor. La parte del bloque que cierra la culata debe tener una superficie sin rugosidad y completamente plana para asentar la junta de culata y hacer herméticos los cilindros durante la compresión.

En la parte inferior del bloque está situada la **bancada**. En el extremo inferior se atornilla el **cárter**, que cubre el cigüeñal y los cilindros, a la vez que deposita el aceite de engrase.

Cuando se fabrica el bloque se realizan conductos internos por donde circulará el aceite de engrase, canalizaciones para el recorrido del refrigerante y taladros roscados para los tornillos de sujeción de la culata y otros accesorios. En motores antiguos, el árbol de levas se montaba en el bloque, cuyo alojamiento está por encima y paralelo al cigüeñal; la distribución en estos motores se denomina OHV.

Como se ha visto en la unidad didáctica 6, los cilindros en el bloque pueden aparecer:

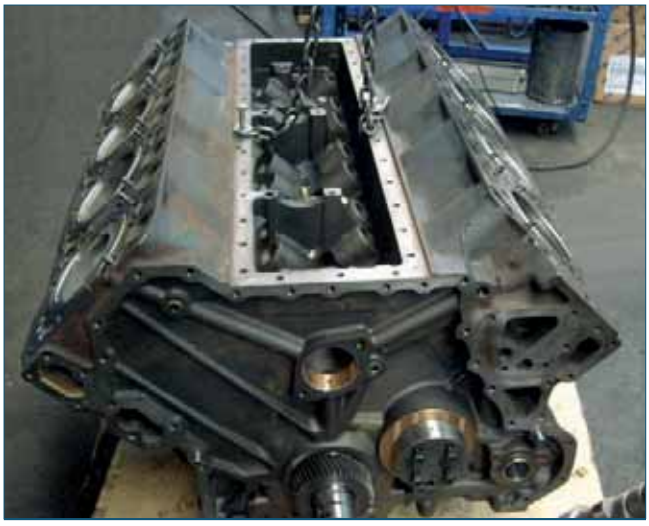
– En línea (figura 8.1).
– En V (figura 8.2).
– En W.
– Horizontalmente opuestos (figura 8.3).

### Avería por conicidad en el bloque por falta de refrigeración

Si los cilindros dejan de ofrecer resistencia al desgaste, van perdiendo su forma cilíndrica y adoptando cierta conicidad y ovalamiento que provoca pérdida de gases de combustión, paso de aceite a la cámara y consumo elevado de aceite. Las consecuencias pueden ser pérdidas de potencia y aumento de consumo de combustible, además de contaminar mucho más que en condiciones normales.

Si no se produce una buena refrigeración aumenta el desgaste y la corrosión de los cilindros y, además, se facilita la deformación de partes planas como el asiento de culata, bancada, colectores, etc.

**8.1.** Bloque motor con cilindros en línea.

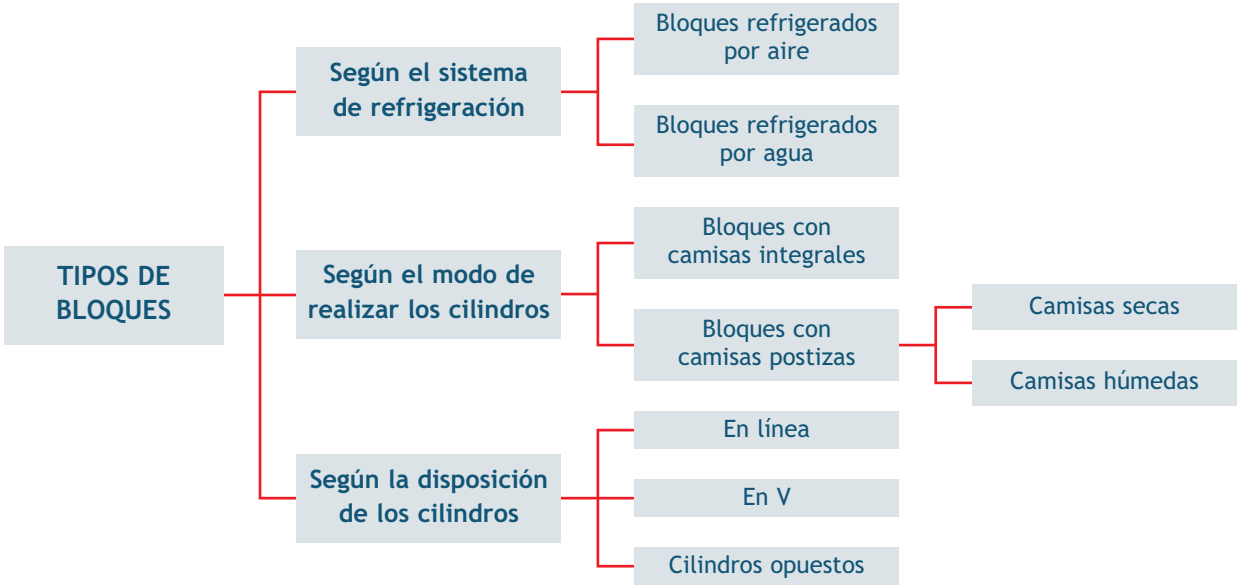


**8.2.** Bloque motor de cilindros en V.

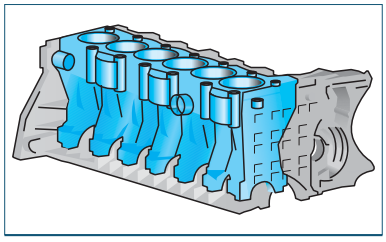
**8.3.** Bloque motor de cilindros opuestos refrigerados por aire.

## 1.1 > Clasificación de los bloques

El siguiente esquema resume los distintos tipos de bloques en el motor actual:



**8.4.** Accesorios que soporta el bloque motor.



**8.5.** Bloque bimetálico.

## 1.2 > Características de los bloques

Los bloques deben tener las siguientes características para conseguir un funcionamiento correcto:

– **Rigidez o resistencia estructural.** Esta rigidez es aportada por los propios materiales y reforzada por el uso de nervios en su diseño. La rigidez es necesaria para:

- Soportar los esfuerzos debidos a la combustión: altas presiones, altas temperaturas, vibraciones, etc.
- Resistir el movimiento de los elementos internos: bielas, cigüeñal, pistones, etc. y la fuerza aplicada a los soportes y estructura del motor.

En el bloque están acopladas las sujeciones del motor al bastidor, que a su vez, va anclado a la carrocería a través de *silentblocks* o tacos de motor, que proporcionan una unión elástica, gracias a la cual se absorben las vibraciones del motor para que no se transmitan a la carrocería.

– **Resistencia al desgaste.** Se consigue con los materiales de fabricación y los tratamientos de los cilindros y con una adecuada lubricación y evacuación del calor. Es imprescindible para conseguir que el bloque resista a lo largo del tiempo, pues sufre rozamientos importantes y repetidos.

– **Capacidad de evacuar calor.** El material de fabricación contribuye a ello, pues de él depende la conductibilidad térmica y un adecuado sistema de refrigeración. Debido a esta característica del motor se evita la corrosión, las variaciones importantes en sus dimensiones, deformidades, etc.

– **Resistencia a la corrosión.** El contacto con los líquidos refrigerantes y las altas temperaturas pueden llegar a dañar seriamente el bloque y las camisas. Los materiales de fabricación del bloque deben ser resistentes a la oxidación. De igual modo, los líquidos refrigerantes deben cumplir las propiedades anticorrosivas.

## 1.3 > Fabricación del bloque

En la fabricación del bloque motor, que hasta hace pocos años se hacía siempre de una única pieza mediante colada o inyección de metal, se utilizan metales como la fundición gris, añadiéndole grafito y aleaciones de cromo, níquel, molibdeno y, en la actualidad, aluminio y magnesio. Las propiedades que se quieren conseguir con estos materiales son, principalmente, resistencia estructural, resistencia al desgaste, buena conductividad térmica y resistencia a la corrosión de los carburantes, refrigerantes y aceites.

Uno de los objetivos principales de las nuevas aleaciones de magnesio-aluminio es disminuir el peso del bloque y con ello hacer más ligero el conjunto del motor.

## 1.4 > La bancada

**La bancada, situada en la parte inferior del bloque, lleva mecanizados los apoyos sobre los que se asienta y gira el cigüeñal, que está sujeto con los sombreretes de bancada donde se interponen unos casquillos antifricción.**

En motores antiguos y más lentos, la bancada forma parte de la estructura del bloque, y está conformada por unos tabiques para aportarle solidez (figura 8.6).

El número de apoyos del cigüeñal suele coincidir con el número de bielas o de cilindros más uno. En motores pequeños de poca cilindrada, para reducir espacio y costes de fabricación, puede ser el número de bielas menos uno (figura 8.7).

En algunas construcciones, el número de apoyos del cigüeñal puede ser inferior al número de bielas. Se adopta este tipo de construcción en motores en V (figura 8.8) al ser más compactos.

Existen bancadas que son independientes del bloque y forman un semicárter o tapa de cojinetes que se une al bloque a través de unos tornillos (figura 8.9).

En motores modernos, el empleo de un número escaso de apoyos se traduce generalmente en vibraciones que tienen efectos muy negativos en los cojinetes y el cigüeñal, siendo el árbol motor encargado de transmitir el par al volante de inercia, embrague y caja de cambios.

**8.7.** Bancada de 3 apoyos de cigüeñal con árbol de levas en bloque.

**8.8.** Bancada de 4 apoyos con cigüeñal para 6 cilindros en V. Fuente: Mercedes.

## Vocabulario

**Colada:** método de obtención de piezas mediante moldes, ya sean metálicos o de arena, vertiendo el material líquido en el mismo y dejándolo solidificar.

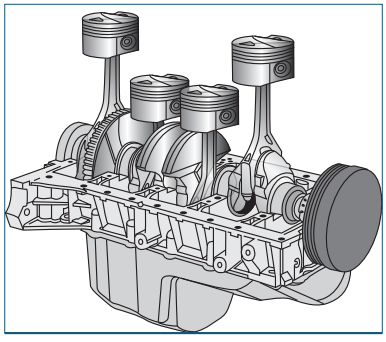
**Fundición gris:** metal derivado del hierro de primera fusión con el que se construyen muchas piezas del automóvil.

### Bloque de magnesio-aluminio BMW

En el desarrollo de los nuevos bloques, BMW ha puesto especial atención en los siguientes puntos:

- La resistencia al deslizamiento viscoso.
- La resistencia a la corrosión y la eliminación de esta por contacto entre magnesio y demás materiales.
- La resistencia térmica y mecánica.
- El comportamiento en la fundición.
- La hermeticidad del motor.

**8.6.** Bancada del bloque motor con 5 apoyos de cigüeñal.



**8.9.** Alojamiento del cigüeñal en bancada separada del bloque. Fuente: BMW.

## 1.5 > Los cilindros

**Los cilindros son cavidades practicadas en el bloque que pueden ser piezas cilíndricas insertadas o estar integradas en el mismo. En el interior de cada cilindro se desplaza el pistón con un movimiento lineal alternativo (figura 8.11).**

El interior de los cilindros es el lugar donde se producen los tiempos del motor: admisión de aire o aire-combustible, compresión de ese aire o mezcla, explosión o combustión en su caso y expulsión de gases fuera del cilindro.

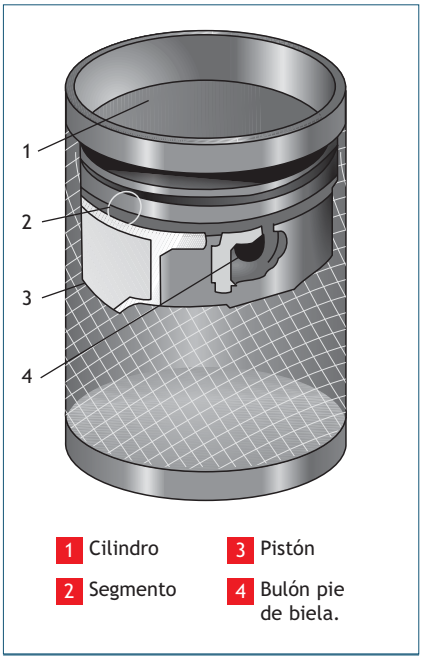
**8.10.** Motor con disposición de cilindros en V.

Del buen estado de los cilindros depende, principalmente, el correcto funcionamiento del motor y su durabilidad, ya que estos deben soportar altas presiones y temperaturas como consecuencia de la combustión. También se produce un rozamiento constante entre los segmentos y el pistón.

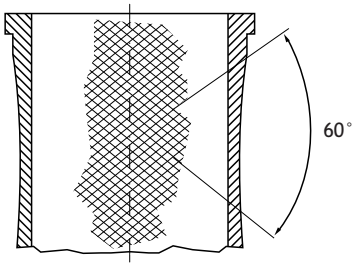
Por todo ello, los cilindros deben cumplir las siguientes propiedades fundamentales:

– Resistencia al desgaste.
– Buena conductividad térmica.
– Buenas cualidades de deslizamiento.

Por otro lado, los cilindros deben presentar una superficie con un bruñido especial: es un marcado cruzado a unos 60°, con una cierta rugosidad que permita retener el aceite para lubricar y evitar el rozamiento de los segmentos (figura 8.12).




**8.11.** Acoplamiento del pistón y segmentos al cilindro.




**8.12.** Aspecto del bruñido de los cilindros.

### El aluminio en bloques integrales

El aluminio no ha dado buenos resultados en la fabricación de bloques integrales.

## 1.6 > Fabricación o montaje de los cilindros en el bloque motor

Existen dos modos fundamentales de fabricación o montaje de los cilindros en el bloque: los cilindros integrados y las camisas de cilindro.

### Cilindros integrados

Los cilindros se confeccionan directamente a la vez que se elabora el bloque y con el mismo metal. Por tanto, no se distingue ningún tipo de camisa postiza y el diámetro del cilindro hay que ajustarlo después de sacar el conjunto del molde (figura 8.13). En la actualidad, este tipo de cilindros se usa en motores Diesel ya que proporcionan gran solidez. Por último hay que señalar que los bloques de aluminio no dan buenos resultados.

**8.13.** Bloque con cilindros integrados y válvulas en el bloque.

### Camisas de cilindro

Las camisas son cilindros desmontables (figuras 8.14 y 8.15). A diferencia de los cilindros integrados, las camisas se fabrican aparte, con materiales más resistentes que los del bloque. Por ejemplo, en el motor v6 de Mercedes-Benz el revestimiento de las camisas es de una aleación especial de aluminio-silicio. La disipación del calor que se obtiene es excelente, reduciendo en un 50% la deformación del cilindro y la fricción con segmentos y pistón. El coste de fabricación es mayor que el del bloque integral.

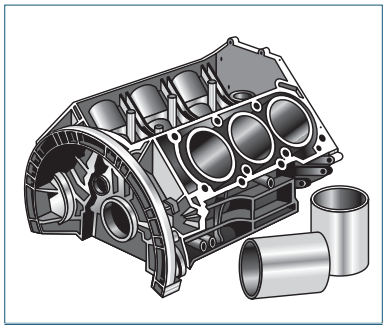
Las camisas pueden montarse de dos formas en el bloque:

– **Camisas secas.** Es un tipo de cilindro de poco espesor que va ajustado a presión en toda su longitud al material del bloque para radiar el calor generado en su interior hacia líquido refrigerante (figura 8.17 B).

#### Ventajas de las camisas postizas

Las camisas postizas se usan en bloques de fundición o de aleación porque para su reparación se sustituye la camisa por una nueva, quedando el motor en las cotas de origen y el material de fabricación del bloque no tiene que ser tan específico para evitar la abrasión.

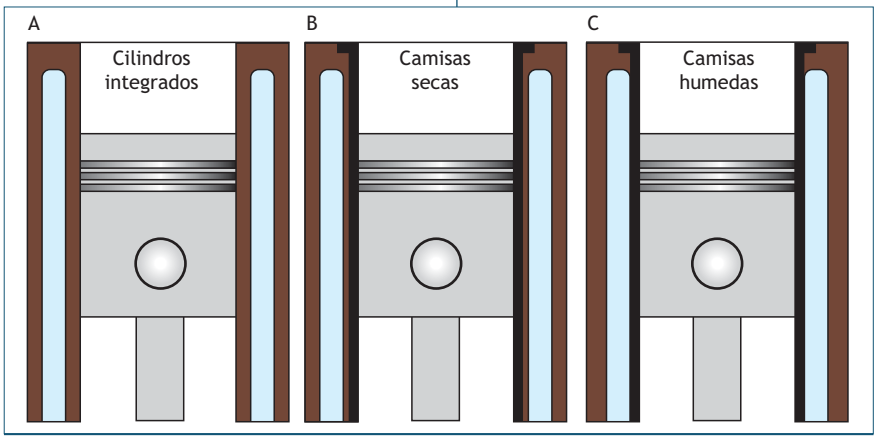
**Práctica 9**



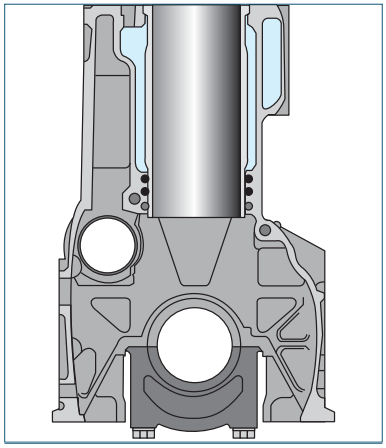
**8.14.** Bloque con camisas secas de aluminio-silicio. Fuente: Mercedes-Benz.

**8.15.** Tipos de camisas y cilindros.

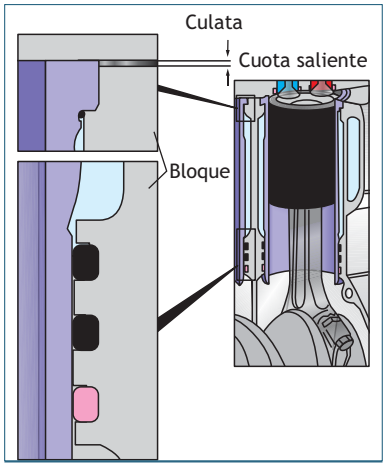
**8.16.** Bloque de camisas húmedas.




**8.17.** Distintos montajes de cilindros.



**8.18.** Sección de la instalación de camisas húmedas en el bloque.




**8.19.** Detalle de la instalación de los anillos y saliente de la camisa.

– **Camisas húmedas.** El bloque para camisas húmedas (figura 8.16) es totalmente hueco. Las camisas son cilindros postizos y están en contacto directo con el líquido de refrigeración (figura 8.17 C). Las camisas, por su parte inferior externa, hacen estanco el circuito de refrigeración mediante unos anillos tóricos (figuras 8.18 y 8.19). En la parte superior también pueden ir selladas con un anillo que encaja en una hendidura debajo del collar de la camisa (figura 8.19). La parte superior de la camisa supera en unos milímetros el plano del bloque (detalle de la figura 8.19). Este montaje garantiza el cierre hermético de la camisa al apretar la culata sobre el bloque a su par correspondiente.

### Las camisas de cilindro en los bloques de aleación ligera

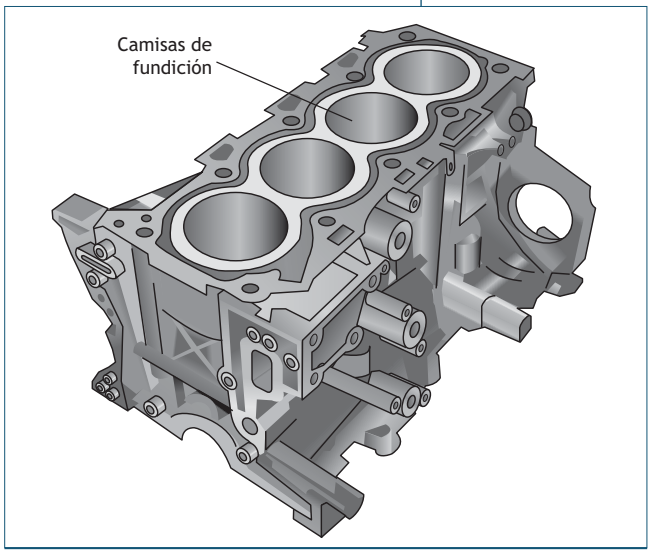
Las camisas en los bloques de aleación ligera están hechas de metal de fundición, más resistente que la aleación del bloque (figura 8.20). El revestimiento interior de estas camisas es de una aleación especial para que la disipación del calor sea buena.

Su montaje se realiza como las camisas secas ajustadas a presión o las húmedas separables.

### Bloque con cilindros refrigerados por aire

En los cilindros refrigerados por aire, es necesario que la refrigeración se realice en las debidas condiciones en toda la periferia del cilindro. Por ello es preciso que los cilindros sean independientes, dotando a cada uno de ellos con unas aletas para el intercambio de calor (figura 8.21). Esto se utiliza principalmente en motores monocilíndricos de usos múltiples, en motocicletas y algunos tractores.

En pequeños motores de dos tiempos debido a su sistema de alimentación y escape por lumbreras laterales, puede no ser preciso que la culata sea desmontable. Se fabrican en algunos casos de un solo cuerpo, llamado *monoblock,* y resultan más compactos. Se evitan puntos de unión entre ellos y, para facilitar el arranque, llevan una válvula de descompresión.

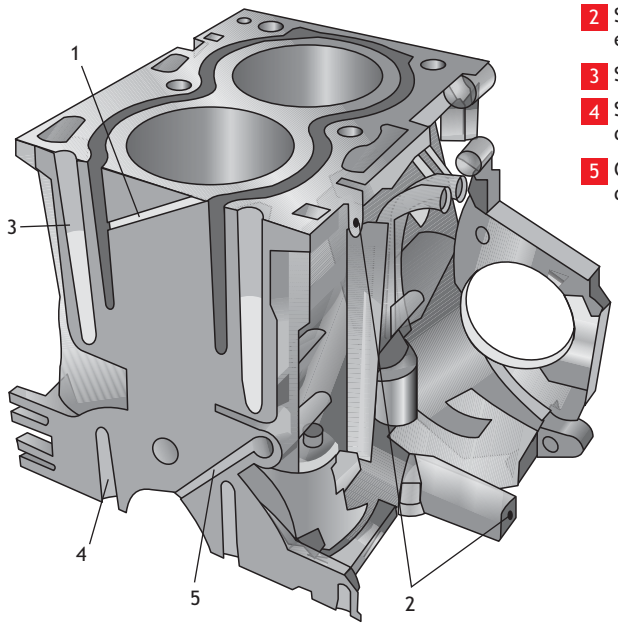



**8.20.** Bloque de aleación y camisas de fundición. Fuente: Toyota.

**8.21.** Cilindro y culata refrigerados por aire.

## 1.7 > Conductos y orificios en el bloque

El bloque motor está provisto de una serie de canalizaciones, cámaras y taladros roscados, que son de vital importancia, para el paso de los fluidos de refrigeración y engrase, así como para la unión de los diferentes componentes que a él se acoplan (figura 8.22). La culata debe de ir fuertemente sujeta, a consecuencia de las grandes presiones que debe soportar, y para evitar la pérdida de compresión y fuga de los líquidos. En el bloque se practican lateralmente los orificios taponados para evitar la rotura del mismo en caso de congelación del líquido de refrigeración.




1. Conducto de refrigeración
2. Sujeción de elementos externos
3. Sujeción de culata
4. Sujeción sombrerete del cigüeñal
5. Conducto de engrase de apoyos del cigüeñal

**8.22.** Conductos del bloque motor. Fuente: Toyota.

Práctica 3

Práctica 4

### Inconveniente de las camisas postizas

El principal inconveniente de los bloques con camisas postizas es una fabricación más compleja que la de un bloque integral.

### Bloque modular

En los bloques, la distancia entre cilindros es la misma con el fin de abaratar costes. Se aprovecha así infraestructura, maquinaria y múltiples piezas comunes en gamas de motores que puedan abarcar distinto número de cilindros.

Práctica 9

Práctica 10

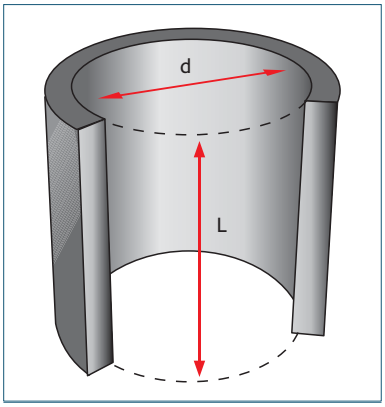
Práctica 11

## Actividades propuestas

1·· Clasifica los componentes del motor en función de su ubicación en las partes fijas: culata, bloque, bancada o cárter. Observa que un mismo elemento puede encontrarse en dos partes fijas.

- Bomba de aceite
- Cigüeñal
- Aceite de engrase
- Válvulas
- Árbol de levas
- Conducto de admisión y escape
- Cilindros
- Segmentos
- Muelles de válvula
- Taqués
- Bielas
- Bulón
- Cojinetes antifricción
- Volante motor
- Árbol de balancines
- Pistón
- Sombreretes de biela o cigüeñal
- Junta de culata

Práctica 8




**8.23.** Dimensiones del cilindro.

## 2 >> Características de los cilindros

### 2.1 > Dimensiones del cilindro

**Las dimensiones del cilindro vienen determinadas por la relación que existe entre la carrera y el diámetro o calibre. Esta relación puede variar en función de las características generales del motor: potencia, revoluciones y número de cilindros.**

Los motores se pueden clasificar en función de la relación (ε) entre su carrera (L) y su diámetro (d). Esta relación viene expresada por la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{L}{d}$$

Esta clasificación es la que sigue:

– Si ε > 1 se trata de un motor alargado. Este tipo de motores se caracterizan por ser lentos.
– Si ε = 1 es un motor cuadrado, caracterizados por ser rápidos.
– Si ε < 1 es un motor supercuadrado. Estos motores se caracterizan por ser muy rápidos.

Para los motores actuales, la relación más normal es ε = 1,2.

$$\varepsilon = \frac{L}{d} = 1{,}2$$

## Casos prácticos

### Relación entre la carrera y el diámetro

•• Calcula la relación entre la carrera y el diámetro del émbolo en un motor de cuatro cilindros, cuyo pistón tiene un diámetro de 82 mm y una carrera de 93 mm. Clasifica el motor en función de esta relación.

**Solución** •• Aplicando la fórmula de la relación entre carrera y diámetro, y sustituyendo los datos del problema se obtiene que:

$$\varepsilon = \frac{L}{d} \longrightarrow \varepsilon = \frac{93\ \text{mm}}{82\ \text{mm}} = 1{,}134$$

Se trata de un motor alargado, al ser el resultado un número mayor que 1.

**Camisas cromadas**

Las camisas de grandes dimensiones se refuerzan con un revestimiento superficial de cromo electrolítico para evitar pequeños desgastes que supongan gran aumento de la cilindrada.

### 2.2 > Espesor de la pared en los cilindros

**El espesor de la pared, tanto en los cilindros como en las camisas, se calcula en función del diámetro y de la presión máxima que soporta la pared del cilindro.**

El espesor de la pared debe estar comprendido entre unos límites para asegurar la transmisión de calor y al mismo tiempo resistir el desgaste y las presiones a las que está sometido.

El espesor viene dado por la siguiente fórmula:

$$e = \frac{d \cdot P_{max}}{700}$$

El espesor de la pared (e) y el calibre (d) se miden en cm y la presión (P) en kgf/cm$^2$. Para el cálculo del espesor en motores de explosión se toman como valores medios de presión 3 500 kPa, equivalentes a 35 kgf/cm$^2$. Y en motores de combustión, se toman 6 000 kPa, equivalentes a 60 kgf/cm$^2$.

## Casos prácticos

### Cálculo del espesor de la pared del cilindro

•• ¿Cuál será el espesor de una camisa montada en un motor diésel con un calibre de 85 mm?

**Solución** •• Aplicando la fórmula del espesor a los datos aportados por el enunciado, el resultado es:

$$e = \frac{d \cdot P_{max}}{700}\ ;\ e = \frac{8{,}5\ cm \cdot 60\ kgf/cm^2}{700} = 0{,}72\ cm = 7{,}2\ mm$$

## 2.3 › Condiciones óptimas de los cilindros

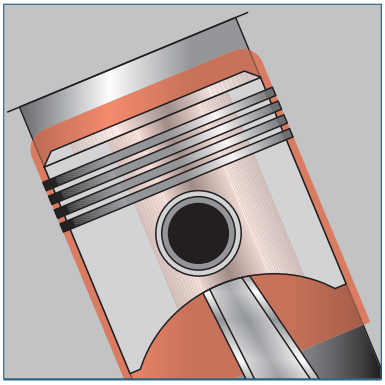
**Los cilindros están sometidos a desgastes, especialmente la parte superior del cilindro, debido a las fuerzas que actúan sobre el pistón en las proximidades del PMS. Estas fuerzas son mayores en el lado de la explosión, siendo la zona de mayor desgaste al soportar menor engrase y mayores temperaturas.**

Los cilindros deben cumplir los siguientes requisitos:

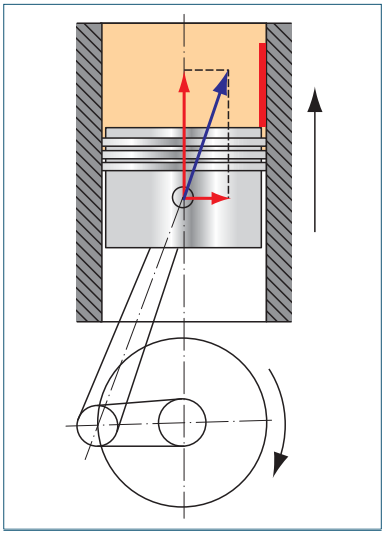
– Ser completamente cilíndricos y no presentar ovalización alguna.
– No sufrir conicidad, es decir, tener el mismo diámetro en toda su longitud.
– Tener una superficie interior lisa, sin rayas, grietas ni escalones.
– Los cilindros siempre deben estar perpendiculares a la superficie superior del bloque.

Los factores que influyen en el desgaste de los cilindros, son principalmente:

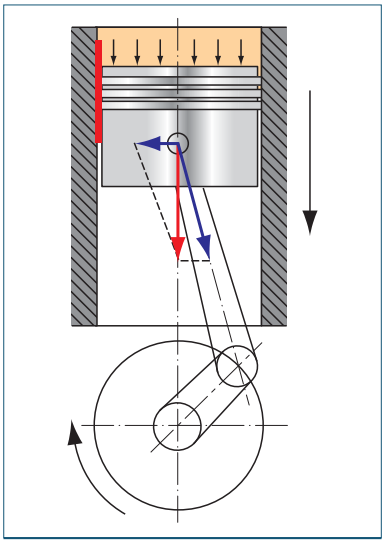
– Desplazamiento del émbolo a una velocidad extremadamente elevada.
– Uso de aceites de baja calidad, viscosidad inadecuada o con un mal mantenimiento.
– Insuficiente apoyo de los segmentos.
– El arranque en frío, al usar mezclas muy ricas y el exceso de combustible sin gasificar diluye el aceite eliminando la lubricación de esta zona.
– Las altas temperaturas sufridas, debido a una mala refrigeración.
– Mal mantenimiento del filtro de aire, con entrada de partículas.
– Que haya elementos corrosivos en el líquido de refrigeración o en el aceite.



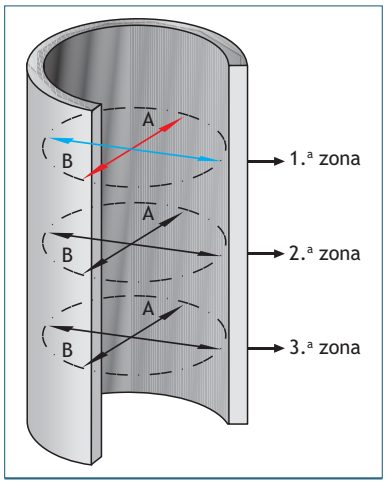
**8.24.** Desgaste de la pared del cilindro.



**8.25.** Desgaste del cilindro por las fuerzas de compresión.



**8.26.** Desgaste del cilindro por las fuerzas de explosión.




**8.27.** Zonas de comprobación del desgaste.

**8.28.** Anomalías de los cilindros: cilindro rayado y fundido por falta de engrase.

## 2.4 › Alteraciones en el cilindro por desgaste

El desgaste de los cilindros provoca alteraciones en las dimensiones de los mismos, como por ejemplo:

– **Ovalización:** diferencia de diámetros medidos en el mismo **plano perpendicular** al eje del cilindro entre A y B.
– **Conicidad:** diferencia de diámetros medidos en el mismo **plano paralelo** al eje del cilindro entre 1.ª, 2.ª y 3.ª zona.

Como consecuencia de estos desgastes se producen fugas de compresión, que disminuyen el rendimiento del motor y aumentan el consumo de aceite y de combustible.

## 2.5 › Efectos de las averías en los cilindros

Un motor puede sufrir daños internos. Estos son previsibles y, cuando se producen, reparables. Las averías de los cilindros se pueden clasificar en dos grandes grupos:

– Uno formado por las averías generadas en la zona del bloque, no provocados por desgastes.
– Otro formado por las averías provocadas por fricciones y un desgaste durante el funcionamiento.

La mayoría de las averías del bloque son por desgaste de los cilindros, desgaste producido por el pistón y sus segmentos principalmente, y debido a un mal uso, mal mantenimiento o desgaste natural por el funcionamiento.

También puede presentar deformaciones en el plano superior, rajas o corrosiones en las paredes de los cilindros, causadas por el agua de refrigeración al congelarse o por la cal contenida en ella, al estar el motor parado durante un largo periodo de tiempo sin el refrigerante adecuado. Es importante **no añadir agua normal al circuito de refrigeración.**

**8.29.** Daños por oxidación en el bloque motor.

**8.30.** Cavitaciones en camisas húmedas.

**8.31.** Camisas húmedas en buen estado.

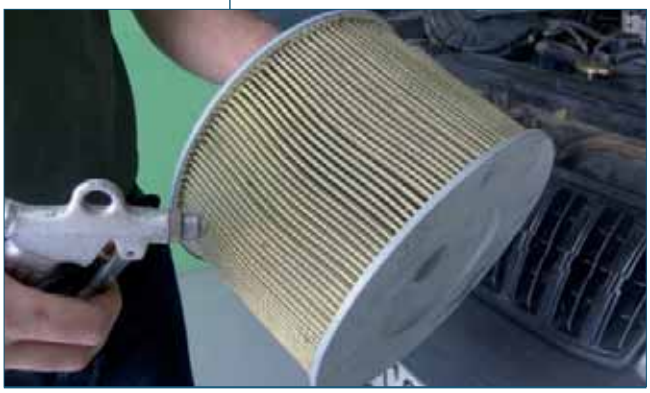
Si hay demasiado desgaste entre los segmentos y el cilindro o grandes rayaduras (figura 8.28) aparece una zona no estanca y el aceite pasa a ser quemado en la combustión.

Cuando las averías de las camisas llevan asociadas grietas, rajas o cavitaciones (figura 8.30) las consecuencias pueden ser más graves. El líquido refrigerante pasa al interior del cilindro y se mezcla con el aceite llegando a provocar el gripaje del motor.

## 3 >> Averías del motor imputables al bloque

A continuación se detallan las averías características que se pueden producir en el motor y que son imputables al bloque. El conocimiento de estas averías ayuda en gran medida al diagnóstico de averías en el motor, su posterior reparación y el montaje del bloque motor.

**8.32.** Limpieza del filtro de aire.



**8.33.** Forma incorrecta de limpieza del filtro de aire.

Las principales averías del motor imputables al bloque son:

– **Pérdidas de líquido refrigerante al exterior.** Pueden ser debidas a que:
- La junta de culata y el bloque no tienen la planificación correcta.
- Los tapones de protección del bloque han sido expulsados.
- Los tapones o tapas de mecanización del bloque no están bien ajustados.
- Fisuras o grietas en el contorno del bloque y en contacto con los conductos de refrigeración.

– **Paso del líquido refrigerante al aceite,** producido por:
- Fisura en el bloque que comunica el circuito de engrase y el de refrigeración.
- Junta de estanqueidad defectuosa entre la camisa y el bloque.
- Planificación incorrecta del bloque no ajustando perfectamente la junta de culata.

– **Paso de aceite al líquido refrigerante,** debido a:
- Fisuras en el bloque que comunica los circuitos de engrase y refrigeración.
- Planificación incorrecta del bloque.

– **Pérdida de aceite al exterior.** A consecuencia de:
- Los tapones de mecanizado del tapón del bloque no están bien ajustados y no hacen cierre hermético.
- Fisuras en el bloque que comunican con el circuito de engrase.
- Planificación incorrecta del bloque.

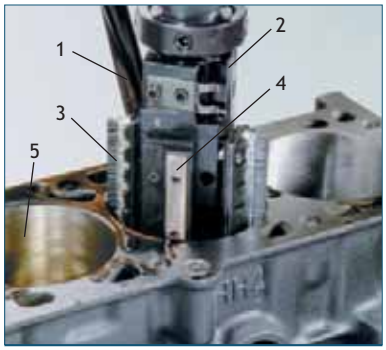
– **Falta de rendimiento del motor y consumo excesivo de aceite,** producido por:
- Fugas de compresión entre el bloque y la junta de culata, debido a una mala planificación del bloque.
- Excesivas medidas interiores en el cilindro con respecto a los segmentos y pistones, por desgastes de funcionamiento.

Práctica 5

Práctica 17

### Importancia del filtro de aire

El filtro de aire es el seguro de vida del motor. Su función es evitar la entrada de partículas al motor. En condiciones normales nunca deberíamos limpiar un filtro de aire con elementos de papel. Teniendo en cuenta que si abrimos los poros del papel, las partículas pasarán por el papel, con lo que se acortará la vida útil del motor.




**8.34.** Fase de bruñido en el rectificado de cilindros.

1 Aceite para el bruñido
2 Brazo de la herramienta
3 Cepillo de lapeado
4 Muela para el bruñido
5 Cilindro

# 4 >> Verificación y reparación del bloque

## 4.1 > Verificación

Para la correcta verificación del bloque motor es fundamental realizar el siguiente proceso de trabajo, respetando el orden establecido:

– Limpieza.
– Inspección visual y detallada de todo el bloque.
– Verificación de la superficie de contacto con la culata y la junta de culata.
– Comprobar el desgaste de los cilindros.

## 4.2 > Rectificado de cilindros

Las diferentes partes constructivas del bloque están sometidas a desgastes y deformaciones. Principalmente, los cilindros son los que mayor desgaste sufren, debido al rozamiento entre piezas y al calor que tienen que soportar.

Para corregir estos desgastes y deformaciones se utiliza la técnica del rectificado.

> **El rectificado consiste en el mecanizado de las camisas, hasta igualar las superficies de contacto y darles un acabado que disminuya el rozamiento y favorezca la lubricación de los órganos en movimiento.**

### Situaciones en las que es aconsejable el rectificado

El rectificado es generalmente recomendable en piezas en las que el coste del recambio es elevado, como culata, cigüeñal o bloque motor. También se recomienda en vehículos pesados, camiones, maquinaria agrícola y de obra públicas, donde la vida útil del vehículo es superior a la del motor.

La decisión de rectificar los cilindros o el bloque depende de los siguientes factores:

– Si el fabricante permite o no el rectificado del bloque. Este dato debe consultarse al fabricante del motor. Además deben verificarse también las medidas y piezas de una posible rectificación.
– El coste del rectificado. Si es superior al de una pieza de recambio nueva, no es recomendable el rectificado.

Después de haber realizado las comprobaciones y mediciones propias para conocer el estado del bloque y el desgaste de los cilindros, se debe consultar en los datos técnicos del fabricante los valores de desgaste máximo admitido por el mismo. Si no se especifica este dato, se toman 0,1 mm como referencia.

Si la conicidad o el ovalamiento del cilindro supera dicho valor o la medida indicada por el fabricante, es recomendable rectificar los cilindros del motor o cambiar las camisas, dependiendo del tipo de cilindros de que se trate.

Los criterios principales para cambiar o rectificar las camisas se detallan en el siguiente esquema:

| Criterios para cambiar o rectificar las camisas del bloque motor |
|---|
| Posibles anomalías en las camisas de los cilindros |
| - Diferentes medidas en la camisa y el diámetro del cilindro.<br>- Hendiduras o roturas en el reborde de la camisa.<br>- Superficie erosionada en el exterior de la camisa.<br>- Marcas, grietas, arañazos u óxidos en la camisa.<br>- Huecos o cavitaciones con deterioro de la camisa.<br>- Mayor diámetro de la camisa con el grosor disminuido. |

### Medidas para el rectificado del bloque motor

Las operaciones de rectificado en el bloque motor se realizan en los cilindros y en el plano de la cara del bloque. **Solo permiten el rectificado los bloques integrales.**

El fabricante puede admitir hasta cuatro rectificaciones, con 0,2 mm en cada rectificado, así como juegos de pistones y segmentos mayorizados a las nuevas medidas de rectificación.

Generalmente los fabricantes disponen de pistones mayorizados en 0,1; 0,2; 0,4 y 0,8 mm, con respecto al diámetro original o estándar.

En el rectificado se eliminará el mínimo espesor exigido de la pared del cilindro que se adecúe a la sobremedida que corresponda al pistón.

$$\text{Medida del rectificado del cilindro} = \text{Diámetro del pistón de sobremedida} + \text{Juego de montaje}$$

En la siguiente tabla se puede analizar la correspondencia entre pistones y cilindros, partiendo de las medidas estándar.

| Correspondencia entre el pistón mayorizado y el diámetro del cilindro | | | |
|---|---|---|---|
| Sobremedidas | Diámetro pistón (mm) | Diámetro cilindro (mm) | Juego de montaje (mm) |
| Estándar | 74,95 | 75 | 0,05 ± 0,01 |
| 0,1 | 75,05 | 75,1 | 0,05 ± 0,01 |
| 0,2 | 75,15 | 75,2 | 0,05 ± 0,01 |
| 0,4 | 75,35 | 75,4 | 0,05 ± 0,01 |
| 0,8 | 75,75 | 75,8 | 0,05 ± 0,01 |

El rectificado consiste en aumentar el diámetro del cilindro con relación a la medida estándar, o en sucesivos rectificados, con relación a la anterior medida, para corregir la forma ovalada o cónica que ha desarrollado durante el funcionamiento del motor.

## Vocabulario

**Mayoración:** aumento del diámetro de una pieza con relación a su medida anterior.

**Medida estándar:** medida patrón fijada por el fabricante a una pieza.

## Casos prácticos

### Cálculo de la medida de rectificado

•• Cuando se realiza la comprobación del estado de los cilindros de un motor, se obtienen los siguientes desgastes:

- Primer cilindro: 0,05 mm
- Segundo cilindro: 0,15 mm
- Tercer cilindro: 0,12 mm
- Cuarto cilindro: 0,17 mm

En el caso del cuarto cilindro medido, con el desgaste máximo de 0,17 mm, se rectificarían todos los cilindros para un pistón de +0,2 mm.

Tomando los valores estándar de la tabla de correspondencias, obtenemos la medida de rectificado para ese desgaste.

- Diámetro original del cilindro: 75 mm
- Diámetro original del pistón: 74,95 mm
- Juego de montaje: 0,05 mm
- Diámetro del nuevo pistón: 74,95 mm + 0,2 mm = 75,15 mm

**Solución** •• La medida de rectificado del cilindro será el diámetro de sobremedida del pistón más el juego de montaje:

75,15 mm + 0,05 mm = 75,25 mm

**8.35.** Comprobación del plano del bloque.

**8.36.** Planificadora.

#### Recomendaciones para el rectificado

Si el rectificado supera los 0,8 mm, no vamos a encontrar los pistones adecuados. El aumento de la cilindrada que conlleva una sobremedida mayor a 0,8 mm provocaría un adelgazamiento tan grande de las paredes del cilindro, que no podrían soportar las explosiones del motor.

Además, hay que tener en cuenta que, con el rectificado, **se aumenta la cilindrada y**, por tanto, **la relación de compresión del motor**, por lo que **puede aparecer el problema del autoencendido.**

La operación de rectificado debe realizarse en todos los cilindros a la misma sobremedida, cualquiera que sea su desgaste, manteniéndose así idéntica cilindrada en todos, y en consecuencia, igual potencia. En caso contrario, los desequilibrios de potencia entre los diferentes cilindros darían lugar a irregularidades en el giro del motor y desequilibrios peligrosos, que podrían producir la rotura de algún componente.

#### Rectificado del plano de apoyo del bloque con la superficie de la culata

La verificación del plano de apoyo del bloque se realiza con la ayuda de una regla y un juego de galgas de espesores calibradas (figura 8.35). Posicionada la regla, se comprobará con la galga calibrada que el mayor alabeo no supere los 0,05 mm. Si se encuentran deformaciones o alabeos,

se debe proceder a la rectificación del plano en una planificadora (figura 8.36), cuidando de quitar la menor cantidad posible de material, ya que con el rectificado disminuye el volumen del cilindro y la relación de compresión.

Otro factor a tener en cuenta es el peligro de que las válvulas golpeen los pistones. Esto se debe corregir con el espesor de la junta de culata.

## Práctica 7

## Técnica

### Comprobación de los cojinetes de apoyo del cigüeñal o bancada

•• Todos los alojamientos del cigüeñal deben ser perfectamente cilíndricos y estar alineados entre sí. La mayor parte de las averías que se pueden achacar a los apoyos o cojinetes de bancada se deben al desgaste y fatiga producidos por los esfuerzos y el rozamiento a que están sometidos durante el funcionamiento en la explosión.

El proceso de comprobación debe ser el siguiente:

- Colocar los semicojinetes y montar los sombreretes o tapas de bancada.
- Apretar a su par correspondiente.
- Medir los diámetros en sentido vertical y horizontal con un alexómetro. La diferencia entre ambos diámetros es la ovalización. Si esta es mayor de 0,04 mm se deben rectificar los apoyos de bancada.

El desgaste producido por el roce de las piezas hace que aumente el juego entre ellas, provocando un mal funcionamiento que podría llegar a producir serias averías.

**8.37.** Apoyos de bancada cilíndricos y alineados.

**8.38.** Mediciones de los apoyos de bancada.

**8.39.** Mandrilado de los apoyos de bancada.

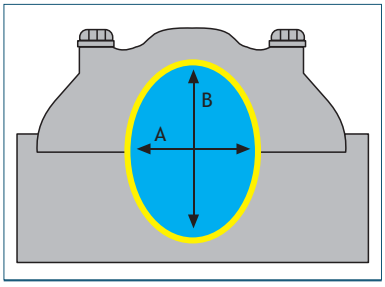
## Técnica

### Proceso de rectificado de los apoyos de la bancada

•• El espacio que el desgaste provoca entre el cigüeñal y los semicojinetes, o tapas de bancada, se denomina juego. Muchas de las averías del motor pueden determinarse escuchando el sonido que este desajuste produce.

Para el rectificado de los apoyos del cigüeñal se debe seguir el siguiente orden:

- Rectificar las superficies de apoyo entre las tapas y la zona de bancada.
- Mandrilar los apoyos de bancada y las tapas para que queden cilíndricos.
- Comprobar la sobremedida del rectificado para el montaje de los cojinetes.




**8.40.** Efectos del desgaste.

## 5 >> Máquinas de rectificado del bloque

El rectificado o mandrinado de cilindros y el planificado se realiza en grandes máquinas que consiguen una alta precisión (figura 8.41). Cuando la operación de rectificado consiste en eliminar una capa de material muy fina, basta con efectuar una operación de **esmerilado**.

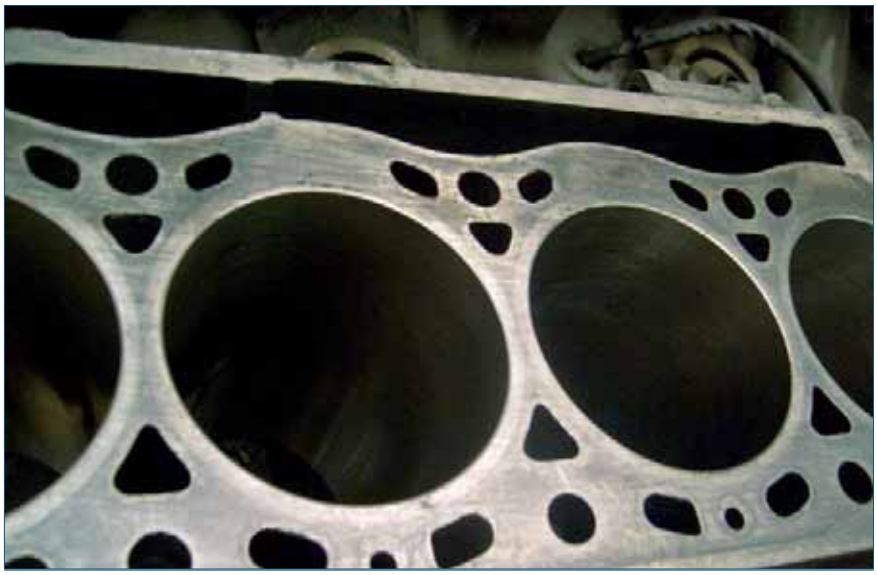
**El esmerilado se realiza con una máquina que tiene un eje giratorio provisto de una cabeza con tiras de material abrasivo. Este eje se introduce en el cilindro, de forma que ambos estén centrados.**

Durante la operación de esmerilado, la cabeza gira al mismo tiempo que se mueve de arriba a abajo. El material abrasivo se extiende lo necesario para que esta cabeza se adapte al diámetro del cilindro, produciendo el arranque de material en una acción de esmerilado. Posteriormente, la cabeza es sustituida por otra de grano mucho más fino para pulir la superficie esmerilada. Cuando el material a eliminar supera un espesor de 0,15 mm de diámetro, se procede a la operación de rectificado, la cual se realiza en máquinas similares a la descrita, en las que el material abrasivo del cabezal es sustituido por unas cuchillas. Normalmente, en el rectificado se deja unos 0,04 mm de material, para poder después hacer la operación de esmerilado y así dar un acabado fino a las paredes del cilindro.

**8.41.** Rectificadora de cilindros.

### Vocabulario

**Mandrinar:** rectificar la superficie de un taladro para aumentar ligeramente su diámetro y dejarlo a unas medidas determinadas, con una calidad superficial mejorada, para ello se emplean las mandrinadoras.



**8.42.** Aspecto de los cilindros después del mandrinado.

| Características de las rectificadoras de cilindros | | |
|---|---|---|
| Para el rectificado se emplean cuchillas | Rectificadoras portátiles<br>Rectificadoras fijas | El diámetro final de rectificado será 0,03 mm menor que el diámetro final del cilindro. |
| Para el pulido se emplean muelas | Rectificadoras portátiles<br>Rectificadoras fijas | La tolerancia debe ser ± 0,02 mm el diámetro final |

La herramienta de corte tiene una rígida sujeción para evitar las vibraciones, gira a una elevada velocidad y trabaja con profundidades de corte muy pequeñas.

En la tabla adjunta se indican las características del rectificado de cilindros, así como las máquinas utilizadas.

## Actividades finales

1·· ¿Cuáles son las funciones del bloque motor?

2·· Haz una relación detallada de los elementos que se acoplan al bloque.

3·· ¿Qué tipos de cilindros se montan en el bloque?

4·· ¿Qué es una medida estándar?

5·· ¿Por qué un motor que presenta un desgaste en un cilindro superior a 0,8 mm no debe ser rectificado?

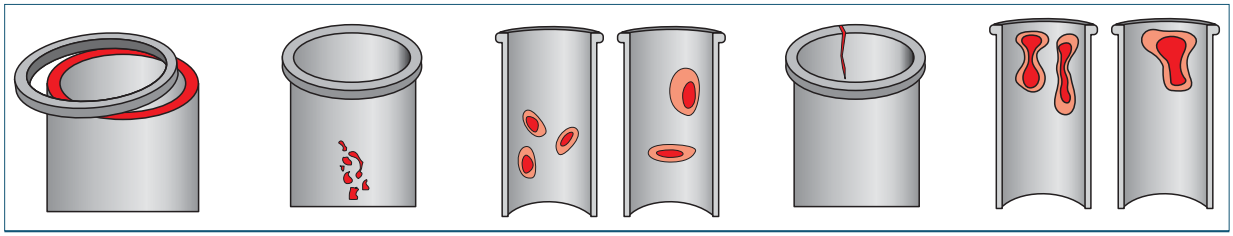
6·· Haz una relación de las causas, las consecuencias, posibles soluciones y medidas preventivas de las siguientes averías del motor imputables al bloque:

- Pérdida de aceite al exterior.
- Paso de aceite al líquido refrigerante.
- Paso de líquido refrigerante al aceite.
- Pérdidas de líquido refrigerante al exterior.
- Pérdidas de potencia y consumo de aceite.

7·· ¿De qué manera influye en el motor el mal mantenimiento del filtro de aire?

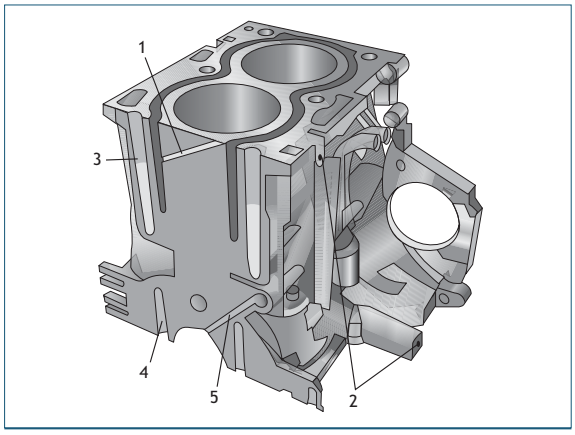
8·· ¿Dónde se miden los desgastes del cilindro? ¿Cómo se denominan? ¿Dónde son más pronunciados?

9·· Nombra los defectos en los cilindros o camisas en la siguiente figura. Explica las causas y las medidas preventivas en cada caso.



**8.43.** Defectos en los cilindros o camisas del bloque.

10·· Explica la función que realizan las zonas numeradas en la figura:




**8.44.** Conductos del bloque motor.

## Caso final

### Investigación del fallo de un motor en un vehículo

•• Un vehículo Renault Megane con motor diésel 1.9 dCi llega al taller con diversos fallos en su motor:

- Dificultad para arrancar.
- Ralentiza con dificultad.
- Le falta potencia.
- El consumo de combustible es elevado.

¿Cómo realizarías su diagnóstico y posterior reparación?

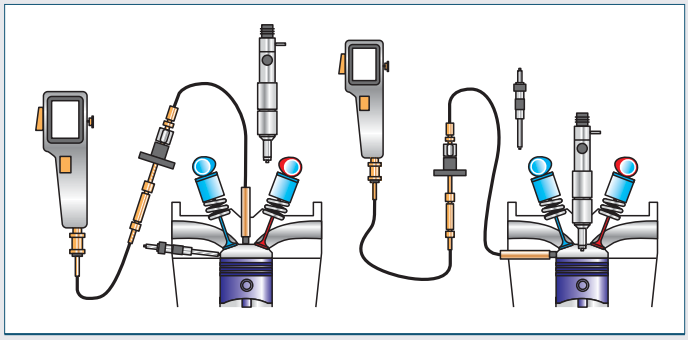
**8.45.** Renault Megane.

**Solución** •• Los síntomas revelan una pérdida de compresión, ya que todos los problemas observados son consecuencia directa de una baja compresión.

Los datos necesarios del vehículo son los siguientes:

- Código de motor: F9 Q 800, 88 kW
- Recorrido: 150 000 km
- Relación de compresión: 18,3:1
- Presión de compresión > 3 MPa (30 bares)

Las conclusiones del primer diagnóstico conducen a hacer un control de las compresiones (figura 8.46): consiste en medir la presión máxima en cada cilindro al final del tiempo de compresión, es decir, cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS) y las válvulas están cerradas.



**8.46.** Prueba de compresión.

La interpretación del control de las presiones se efectúa comparando las medidas de la presión en cada cilindro con los valores establecidos por el fabricante.

**Controles preliminares**

- Nivel de aceite.
- Carga de la batería.
- Filtro de aire.
- Velocidad de giro del motor de arranque.

**Condiciones para realizar la prueba**

- Motor caliente.
- El motor no debe arrancar.
- Todos los inyectores o calentadores desconectados.

**8.47.** Condiciones en el motor.

Los pasos a seguir para la comprobación son los siguientes:

1. Conecta el compresímetro en el primer cilindro con ayuda del correspondiente adaptador en el alojamiento de la bujía de precalentamiento o calentador.
2. Conecta un *switch* de accionamiento remoto al motor de arranque. Pon atención en no accionar la llave de encendido para evitar conectar la bomba de combustible.
3. Repite la prueba sucesivamente en cada cilindro.

**8.48.** Alojamiento del calentador.

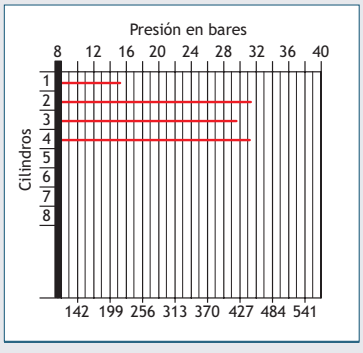
4. El compresímetro proporciona la presión máxima alcanzada en cada cilindro en kPa o en bares.
5. Anota los valores obtenidos. Si el compresímetro es de tarjeta quedará marcado cada cilindro en la misma.

**8.49.** Conexión en diferentes cilindros.

**8.50.** Compresímetro de tarjeta.

**8.51.** Compresímetro de reloj.

6. Analiza los datos de la tarjeta proporcionados por el compresímetro.
7. Del análisis de los valores, llegas a la conclusión de que en el cilindro número 1 existe un daño interno. Teniendo en cuenta que tanto el estado de las válvulas como su reglaje son correctos, debes proceder a desmontar el motor.
8. Desmontado el motor se localiza la avería: la junta y la culata están en buen estado y el cilindro número 1 está seriamente rayado. Este daño puede haber sido debido a un mal mantenimiento del filtro del aire o el circuito de engrase.




**8.52.** Valores de la tarjeta.

**8.53.** Bloque motor dañado.

**8.54.** Cilindro número 1 seriamente rayado.

## Ideas clave

**BLOQUE MOTOR**

- Soporta la culata por su parte superior.
- En su interior aloja los cilindros, conductos de refrigeración y de engrase y orificios de unión de otros elementos.
- En su exterior aloja los elementos auxiliares y accesorios.
- Sujeta el motor al bastidor.
- En su parte inferior sustenta el cárter que contiene el aceite de engrase y la bomba.

**Tipos de bloques**

- Con cilindros en línea
- Con cilindros en V o W
- Con cilindros horizontales opuestos
- Con cilindros radiales en aviones

**Montaje de cilindros**

- Integrados
- Camisas secas
- Camisas húmedas

**Averías**

- Pérdida del plano superior
- Agrietamientos
- Pérdida de líquidos
- En los cilindros:
  - Ovalización
  - Conicidad
  - Cavitaciones

# MOTORES *BOXER.*

MOTORES *BOXER.*

## TECNOLOGÍA DE PRIMERA Y DE FUTURO

Los motores con la disposición de cilindros en **línea** y en **V** son las arquitecturas más populares de los motores. Pero la disposición tipo ***boxer*** es propia de los motores más compactos y eficientes.

La fama de los motores *boxer* está avalada por sus notables usuarios: Ferrari, Alfa Romeo, Subaru y Porsche, en su legendario 911. También Citroën ha utilizado motores de este tipo en alguno de sus vehículos. Subaru ha presentado un motor *boxer* diésel en 2008.

Un motor tiene los cilindros dispuestos en V cuando existe un ángulo de apertura entre las filas de los cilindros. Cuando este ángulo alcanza los 180 grados, se dice que el motor es de cilindros horizontales opuestos o *boxer.* Veamos a continuación las ventajas y desventajas de este tipo de motores.

### Ventajas

Las grandes ventajas de este tipo de motores son:

– Menor altura y un centro de gravedad más bajo que el de sus rivales en línea y en V, lo que le permite al diseñador de la carrocería un mayor campo de trabajo.
– Un excelente equilibrado, combinado con un sonido deportivo, que en absoluto resulta molesto.
– Una disposición más compacta, que junto con una tracción integral, permite una simetría total y perfecta del bastidor y todos sus órganos mecánicos. Todo esto hace que el comportamiento del motor sea mejor, y aporte un alto nivel de seguridad.
– Elementos de menor longitud que garantizan mayor estabilidad y eficiencia, lo que permite una mayor cantidad de accesorios sin perjudicar el rendimiento del motor.
– Suavidad de respuesta y gran capacidad de empuje desde bajo régimen.
– Una cámara de combustión perfectamente estudiada, que repercute en unos consumos contenidos, haciendo posible que estos motores cumplan sin problemas con las más estrictas normativas de anticontaminación.

### Desventajas

– La principal desventaja del motor *boxer* es un mayor coste en su desarrollo y fabricación, al emplear mayor cantidad de piezas que un motor normal.
– Para conseguir una refrigeración adecuada del *boxer* hay que utilizar un radiador de aceite y montarlo en la parte delantera del coche.
– Necesita compensadores para evitar unas vibraciones excesivas.

unidad 9

# El tren alternativo. Verificación y controles

## SUMARIO

- Volante de inercia
- Cigüeñal
- Biela
- Casquillos de biela y cigüeñal
- Montaje biela-pistón
- Pistón
- Segmentos

## OBJETIVOS

- Conocer los diferentes procesos de control de los elementos referidos.
- Analizar los cuadros de diagnóstico y aplicarlos de manera práctica.
- Utilizar correctamente los diferentes métodos de verificación descritos.
- Realizar un buen diagnóstico de averías, detectando posibles fallos y subsanarlos, siguiendo los procesos desarrollados en la unidad.

# 1 >> El volante de inercia

**El volante motor es la pieza que almacena energía cinética de las carreras de trabajo o motrices y la cede en las carreras no motrices. También se encarga de regular el funcionamiento de giro del motor.**

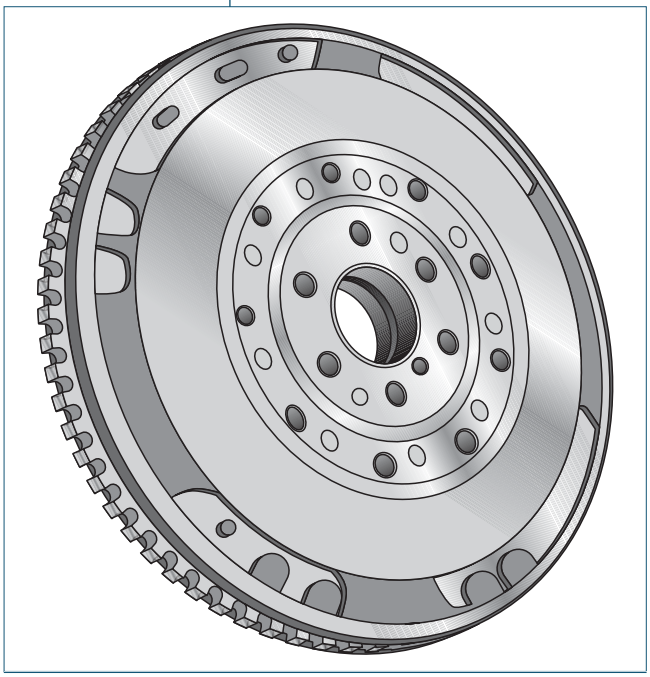
Alrededor de su perímetro exterior se instala una corona dentada montada por interferencia, en la cual engrana el motor de arranque en el momento en el que se pone en marcha el motor de combustión.

## 1.1 > Características del volante de inercia

El volante de inercia generalmente está fabricado de fundición gris perlítica, obtenida por colada en moldes y posteriormente mecanizada por completo para poder obtener una masa perfectamente equilibrada.

En principio deberá tener una masa importante para poder cumplir con su cometido funcional, y así, poder vencer las oposiciones intrínsecas de las fases no productivas. Su tamaño depende del número de cilindros, ya que, a mayor número de cilindros menor es la irregularidad de giro y, en consecuencia, menor es el diámetro del mismo y mayor podrá ser el régimen de giro del motor por la colocación de un volante de menor peso.

La corona de arranque se monta en caliente en su perímetro exterior y, una vez fría, queda ajustada a presión. El volante es equilibrado antes de emplazarlo en el cigüeñal y después junto con él.



**9.1.** Volante de inercia.

## 1.2 > Proceso de control

Para realizar un proceso de control correcto del volante de inercia se deben tener en cuenta una serie de síntomas para localizar las posibles averías correspondientes a este órgano. Son los siguientes:

- **Rumorosidad de motor.** Normalmente está provocada por una sujeción deficiente del volante de inercia.
- **Vibraciones a un número determinado de revoluciones.** Estas vibraciones pueden ser motivadas por un montaje incorrecto o por un desequilibrio del volante.
- **Trepidación en el vehículo al soltar el embrague.** Causada por una superficie de fricción del volante deteriorada.
- **Incorrecto acoplamiento del piñón del motor de arranque con la corona.** Producida por una corona defectuosa.
- **Al engranar el piñón del motor de arranque a la corona el cigüeñal no se mueve.** Motivada por una sujeción de la corona defectuosa.

Si se da cualquiera de estos casos, debe procederse al centrado del volante motor. Esta operación se realizará con el volante montado en el cigüeñal, para comprobar si el volante está mal montado, descentrado o alabeado.

### Fundición gris perlítica

La fundición gris se caracteriza porque en ella la mayor parte del carbono se encuentra libre formando láminas de grafito. Es menos dura y menos frágil que la fundición blanca.

## 2 >> El cigüeñal

**El cigüeñal es un árbol motriz que alberga tantos codos como cilindros tenga el motor y es en él donde se recibe la fuerza de la combustión.**

El cigüeñal junto con la biela genera el movimiento biela–manivela que transforma el movimiento lineal alternativo del pistón en movimiento rotatorio del volante motor.

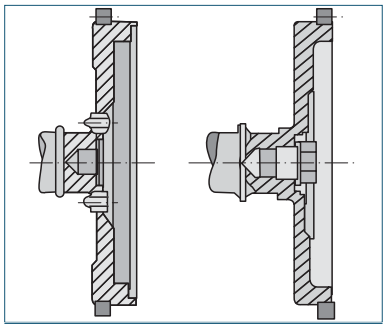
### 2.1 > Formas constructivas del cigüeñal

La forma del cigüeñal depende del tipo de motor, del número de cilindros y del ciclo de funcionamiento, y el objetivo que se persigue al decidir su aspecto final es el de conseguir el equilibrio estático y dinámico durante el giro, para así, compensar las fuerzas en los diferentes puntos de empuje sobre las muñequillas y las reacciones resultantes en los apoyos.

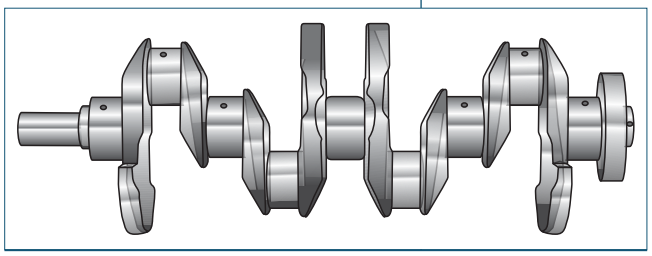
El tipo de motor condiciona las fuerzas a las que está sometido el cigüeñal, así como las distorsiones y momentos de inercia debido a la velocidad de régimen. El número de cilindros y la forma de realizar el ciclo de funcionamiento condicionan también la longitud del cigüeñal. El número de apoyos y la posición de las muñequillas, lo hacen para obtener el desfase correspondiente en las explosiones.

#### Sujeción volante al cigüeñal

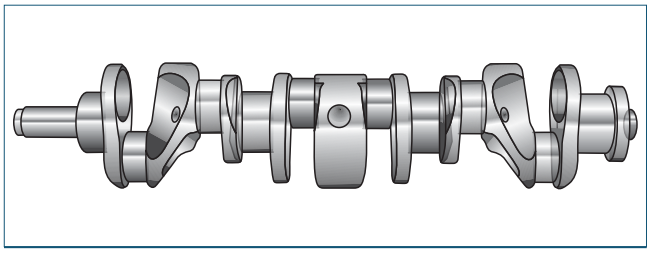
El volante es necesario que vaya unido al cigüeñal, siempre en la misma posición, pues van equilibrados en conjunto. La unión entre ambas piezas se realiza mediante tornillos como puede apreciarse en la figura.



**9.2.** Sujeción volante al cigüeñal.



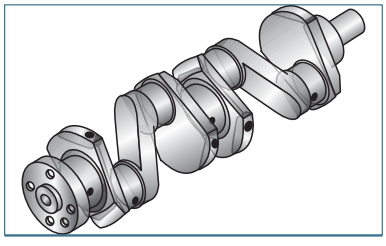
**9.3.** Cigüeñal de 5 apoyos.



**9.4.** Cigüeñal para motor de 6 cilindros.

#### Cigüeñal de 3 apoyos

Aunque no es lo habitual en motores de pequeña cilindrada te puedes encontrar cigüeñales con menos apoyos que muñequillas, como el caso de la figura 9.5, donde se puede ver un cigüeñal para un motor de 4 cilindros y 3 apoyos.



**9.5.** Cigüeñal de 3 apoyos y 4 muñequillas.

En motores en línea el número de muñequillas de bancada suele coincidir con el número de cilindros más uno.

Las ventajas de esta solución son mayor rigidez y un mejor reparto de cargas de los cojinetes. Las desventajas son un mayor coste y mayores roces pasivos.

### 2.2 > Equilibrado del cigüeñal

#### Equilibrado estático

**El equilibrado estático se realiza en el proceso de diseño de componentes del motor, tratando de repartir la masa del conjunto en relación a su eje de giro, con lo que se consigue que, sea cual sea la posición del cigüeñal, este se halle siempre en reposo.**

El equilibrado se lleva a cabo controlando el peso de las muñequillas, que ha de estar exactamente calculado y compensado gracias a los contrapesos, para que las fuerzas de tipo lateral resulten nulas, tanto en reposo como en movimiento, proporcionando así un par de rotación regular.

En las figuras 9.6 y 9.7 se puede comprobar que, de no estar todo completamente calibrado, surgirían nuevas fuerzas que se opondrían al giro uniforme y regular del cigüeñal, dando como resultado una pérdida de par motor y la disminución del rendimiento del mismo. Este equilibrado se realiza en una máquina llamada equilibradora.

El equilibrado estático se consigue retirando material sobrante de la zona más pesada de los contrapesos. Otra manera de proceder consiste en aplicar al cigüeñal una pasta específica denominada mastic en cantidad suficiente hasta que toda la masa sea regular.

### Equilibrado dinámico

**El equilibrado dinámico se consigue cuando la resultante de los momentos generados por las fuerzas centrífugas, tomados con respecto a un punto cualquiera del eje, llega a ser nula. Normalmente se toma uno de los apoyos como referencia.**

Si se calcula el momento resultante respecto del punto A sobre el cigüeñal representado en la figura 9.8 se obtiene:

$$MA = (F \cdot L + F \cdot 5L) - (F \cdot 2L + F \cdot 4L) = (F \cdot 6L) - (F \cdot 6L) = 0$$

Este es el motivo por el cual en los motores de 4 cilindros en línea, si los pistones número 1 y 4 se encuentran en el PMI los pistones número 2 y 3 están situados en el PMS. Si esto no ocurriera, el cigüeñal no quedaría equilibrado dinámicamente.

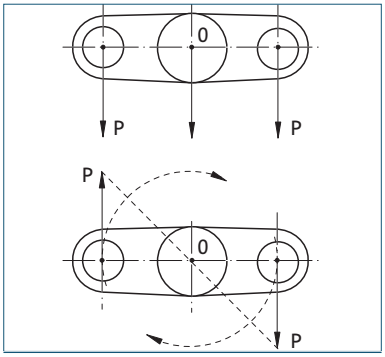
## 2.3 > Proceso de control del cigüeñal

Veamos algunos síntomas achacables a posibles averías del cigüeñal:

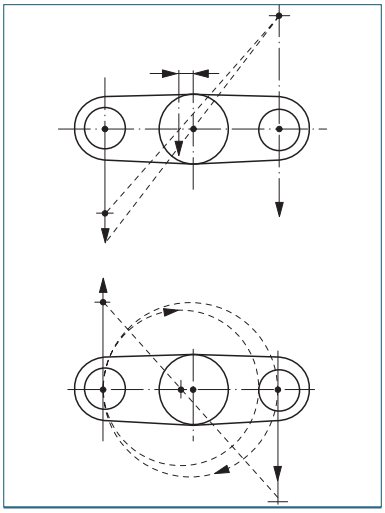
- **Rumorosidad excesiva del motor.** Puede ser debida a un excesivo juego del cigüeñal sobre sus casquillos, o bien, a un excesivo juego axial del cigüeñal, si al pisar el embrague disminuye o desaparece el ruido.
- **Falta de rendimiento del motor.** Provocada por interferencia entre el cigüeñal y los casquillos, o porque algún conducto interior del cigüeñal está obstruido.
- **Vibración anormal del motor a un número determinado de revoluciones.** Puede ser debida al desequilibrado del cigüeñal.
- **El cigüeñal no se mueve al engranar el motor de arranque con la corona dentada del volante.** Puede ser porque el cigüeñal esté gripado.
- **Presión de aceite escasa.** Porque existe interferencia entre el cigüeñal y los casquillos, o bien por una pérdida de aceite a través de algún tapón de mecanizado del cigüeñal.

Para comprobar el funcionamiento del cigüeñal, se realizarán las siguientes verificaciones:

- **Excentricidad.** Se realiza con un reloj comparador en el apoyo central, colocando el cigüeñal apoyado en los extremos sobre dos rodillos o calzos en V para que gire libremente.
- **Conicidad y ovalamiento.** Se lleva a cabo realizando diferentes medidas de diámetros en sentido longitudinal y perpendicular entre sí.
- **Control del juego axial.** Consiste en verificar el juego que tiene el cigüeñal en sentido longitudinal una vez montado en su alojamiento del bloque.

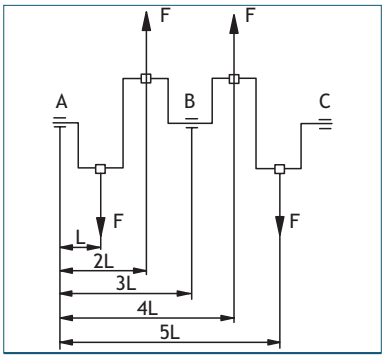


**9.6.** Cargas equilibradas.


**9.7.** Cargas desequilibradas.

### Máquina equilibradora

Con el cigüeñal montado en la máquina equilibradora se le hace girar y en la pantalla digital aparece la corrección de peso que hay que efectuar en cada punto.



**9.8.** Momentos de fuerza sobre los apoyos del cigüeñal.

## 3 >> La biela

**La biela es el elemento del motor que transmite la fuerza del pistón al cigüeñal, transformando el movimiento rectilíneo alternativo del pistón en rotatorio de salida por su acople con el cigüeñal.**

Las bielas están fabricadas en acero aleado templado con casquillo de cobre insertado en el acoplamiento con el bulón del pistón.

Se puede producir rumorosidad excesiva del motor cuando una biela está arqueada o retorcida sobre su eje. Este arqueamiento puede estar causado por un diámetro excesivo en el pie o cabeza de la biela, por un ancho de la cabeza de biela deficiente o por un peso inadecuado.

### Verificaciones en las bielas

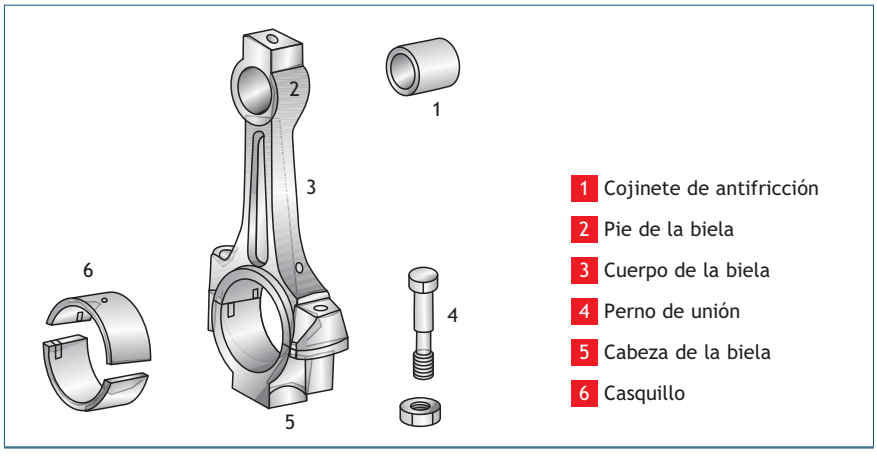
Las principales verificaciones a tener en cuenta en las bielas son las siguientes:

- **Alineación de las bielas.** Para conseguir un correcto acoplamiento entre el cigüeñal y el pistón, los dos casquillos de la biela tienen que estar perfectamente alineados entre ellos. Es necesario entonces controlar la alineación o falta de paralelismo entre ejes, para lo que será imprescindible utilizar el dispositivo verificador adecuado.
- **Control del diámetro del casquillo del pie de biela.** El diámetro del casquillo es importante para asegurar un correcto acoplamiento entre dicho casquillo y el bulón de acoplamiento con el pistón. En caso de que el valor esté fuera de tolerancia es posible rectificarlo o bien sustituir el casquillo de cobre.
- **Control del diámetro interior de la cabeza de biela.** Es necesario alojar los casquillos de la biela en la cabeza y sobre el sombrerete correspondiente, dando a los tornillos del mismo el apriete recomendado, con la ayuda del goniómetro correspondiente, si es angular. Se debe verificar también que las marcas existentes tanto en los sombreretes como en la cabeza estén orientadas hacia el mismo lado.
- **Control del peso de las bielas.** Para un correcto equilibrado de los órganos en movimiento, se necesita controlar que las diferencias de peso entre las bielas no superen el valor prescrito.

**Tipos de fuerzas que soportan las bielas**

Durante el funcionamiento del motor las bielas están sometidas a fuerzas de compresión, tracción y flexión. Por este motivo la sección del cuerpo tiene forma de doble T, para tener la rigidez necesaria y a la vez resultar ligera de peso.

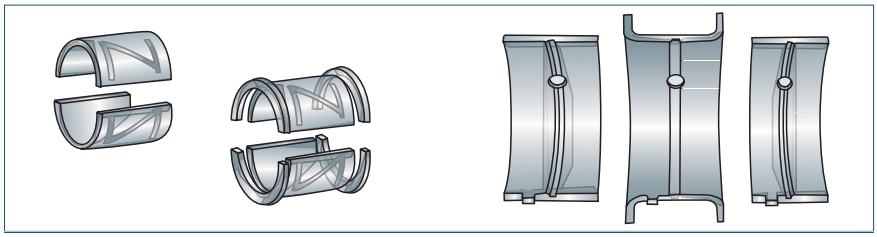
**Práctica 11**




**9.9.** Conjunto de biela.

## 4 >> Casquillos de biela y cigüeñal

**Los casquillos o semicojinetes son elementos colocados entre la biela y la muñequilla, y entre el cigüeñal y el bloque. Su misión es reducir la fricción entre estas piezas y, por consiguiente, controlar la temperatura y los desgastes de las mismas.**



**9.10.** Casquillos de bancada y biela.

### Averías más comunes y verificación de los casquillos

Es conveniente tener en cuenta las siguientes sintomatologías y sus probables causas directas para poder realizar un buen control de los casquillos, ya que de ello depende el buen funcionamiento del motor:

– **Rumorosidad excesiva del motor.** Puede ser debida a un excesivo juego entre los casquillos y las muñequillas del cigüeñal, o bien, entre los cojinetes axiales y el cigüeñal; al pisar el embrague, suele disminuir o desaparecer.
– **Escaso rendimiento del motor.** Achacable a la descolocación entre los casquillos y las muñequillas del cigüeñal, o en su defecto, a un erróneo montaje de los casquillos.
– **Baja la presión** del circuito de engrase.

Además de las dos averías señaladas anteriormente, pueden darse otro tipo de averías importantes propias de los casquillos: corrosión, calentamiento y gripado.

### Corrosión

**La corrosión consiste en la destrucción paulatina de los cuerpos metálicos. En el caso de los casquillos se hace visible por la formación de campos oscuros y de pequeñas cavidades o *pits* (figura 9.11).**

Las **causas** más comunes de la corrosión es un ataque químico, producido por compuestos que se hallan en el lubricante y que atacan a la aleación de los cojinetes. Tales compuestos pueden ser ajenos al sistema de lubricación, como en el caso del agua, o pueden ser producidos durante la vida del motor por la oxidación del aceite de engrase. La acción nociva que se da en un cojinete cuando este funciona en un medio corrosivo puede ocasionar el ataque a uno o más elementos constitutivos de la aleación de fabricación del cojinete, o bien, en la formación de óxidos sobre la superficie de deslizamiento.

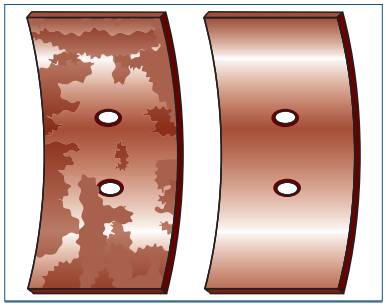
No obstante, la industria fabricante de aceites lubricantes ha desarrollado aditivos que si bien no impiden la oxidación del aceite, sí lo protegen de la misma por un periodo más largo de trabajo, minimizando este tipo de anomalías, aunque sin eliminarlas por completo.

#### Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción es un número que nos indica la fuerza que se opone al movimiento debida al rozamiento. En el caso de los casquillos o cojinetes se busca que este coeficiente sea lo más bajo posible para evitar pérdidas de calor debidas al rozamiento.

#### Cojinete axial

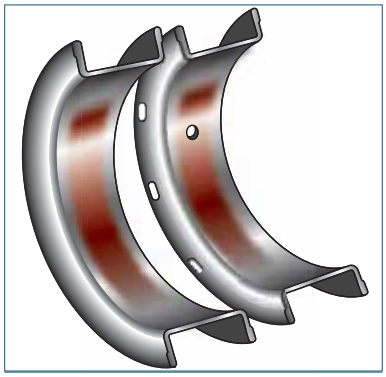
Los cojinetes axiales tienen la función de soportar las fuerzas longitudinales generadas en el cigüeñal, cuando este está en movimiento; y también las fuerzas generadas cuando se acciona el embrague.



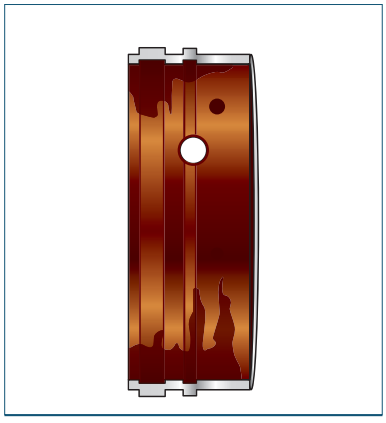
**9.11.** Corrosión.

### Temperatura de fusión

Es la temperatura necesaria para que un cuerpo en estado sólido pase a estado líquido, cada material posee una temperatura de fusión diferente.



**9.12.** Calentamiento.



**9.13.** Gripado.

### Gripado

Se entiende por gripado el agarrotamiento o enganche producido entre dos piezas, una fija y otra deslizante, generalmente debido al aumento de temperatura y a la consiguiente dilatación que hace difícil el paso de la película de aceite.

Para evitar la corrosión se deben realizar las operaciones de mantenimiento dentro de los plazos prescritos por el fabricante.

#### Calentamiento

**Un calentamiento excesivo de los cojinetes puede provocar que la capa antifricción sea eliminada quedando el acero sin protección alguna (figura 9.12).**

Si se produce un exceso de calor, llegándose a situar la temperatura por encima del límite de fusión del plomo o el estaño (230 °C), y estando el cojinete sometido a la fuerza continua de arrastre por fricción con el cigüeñal, el material antifricción pierde su característica de protección y pasa a ser frágil en caliente.

Para evitar el sobrecalentamiento de los cojinetes, es conveniente seguir las siguientes indicaciones:

– Deben de tener las características especificadas por el fabricante.
– Antes de su montaje, es aconsejable verificar que los cuellos del cigüeñal estén en perfecto estado.
– Asegurarse de que están limpios, cuando se vaya a cambiar el aceite.
– Eliminar todos los residuos de la rectificación y demás suciedades durante el montaje del motor.

#### Gripado

**La falta de aceite lubricante en los casquillos da lugar a que su superficie de trabajo presente desgaste tornándose brillante, en caso de falta completa de lubricación, por el arrastre de materia del mismo por el eje en contacto con la superficie de deslizamiento del cojinete con el apoyo o muñequilla del cigüeñal (figura 9.13).**

Las causas del gripado o de la desaparición de la capa de protección antifricción del cojinete, puede venir dada entre otros factores por:

– Un juego insuficiente.
– Un aceite lubricante demasiado líquido.
– Un motor trabajando en regímenes bajos de giro por largos periodos de tiempo.
– Falta de aceite lubricante, que ocasiona un contacto metal-metal del cojinete con el apoyo del cigüeñal, dando lugar a un desgaste excesivo por arrancado del material antifricción.

Para evitar el gripado debe controlarse que:

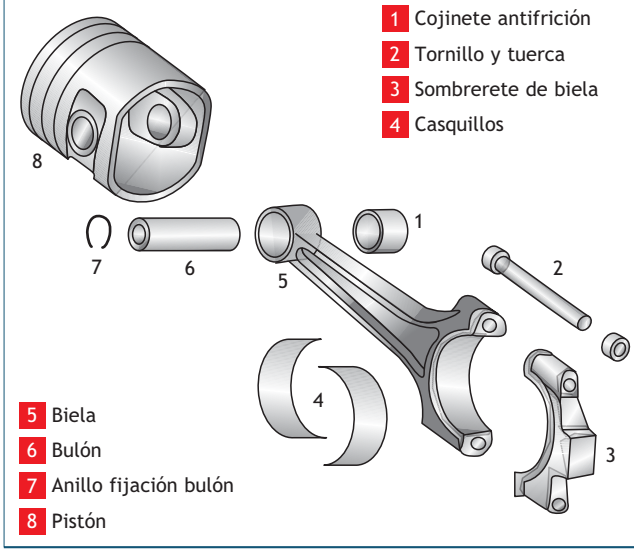
– Las dimensiones de los apoyos del cigüeñal correspondan con las de los cojinetes a montar.
– Rectificar los apoyos del cigüeñal y, si fuera necesario, verificar el funcionamiento de la bomba de engrase y de su válvula de descarga.
– Constatar que los orificios de engrase de los cojinetes están alineados con los existentes en el bloque motor y en las bielas.
– Evitar que el motor esté girando a regímenes muy bajos por largos periodos de tiempo.
– Asegurarse de que el aceite lubricante no se encuentra demasiado diluido por combustible o líquido de refrigeración.

## 5 >> Montaje biela-pistón

**La unión de la biela con el émbolo es realizada por medio de un pasador llamado bulón, que permite el juego necesario entre ambos para poder llevar a cabo parte de la misión del conjunto biela–manivela y, además, soporta las mismas fuerzas que el émbolo.**

El bulón se construye en acero de cementación con un espesor de entre 0,7 y 1,2 mm, y son generalmente fabricados en forma hueca, cumpliendo así la misión de hacer de ensamble ligero y resistente.

Las dimensiones vienen determinadas en parte por el diámetro del pistón, considerando a modo genérico un diámetro exterior de aproximadamente el 40% del émbolo, siendo también importante tener en cuenta que el espesor del mismo viene a ser del orden de 0,3 a 1 cm.

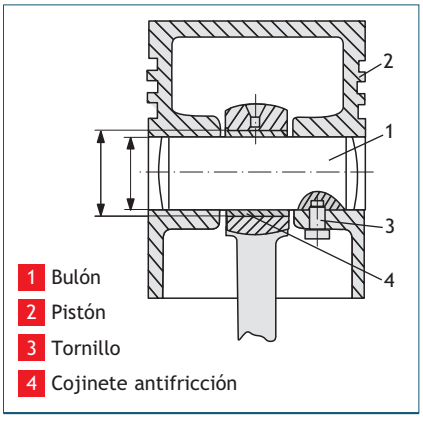



**9.14.** Conjunto biela-pistón.

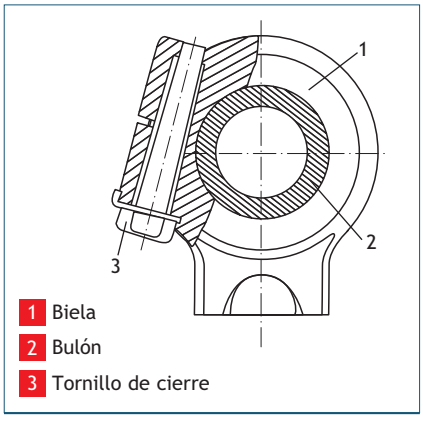
### Características del montaje

Los tipos de montaje biela-pistón son clasificados dependiendo de la manera de unirse, teniendo generalmente presentes como más usuales los siguientes tipos:

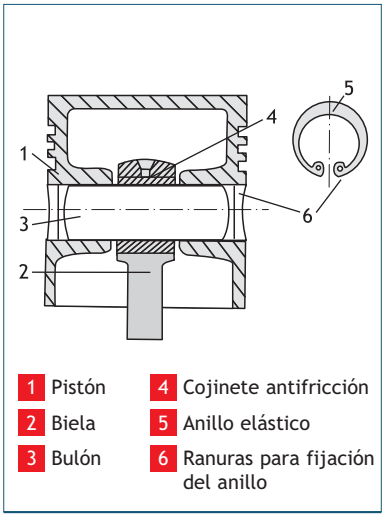
– **Fijo al pistón.** En este tipo de unión, el bulón se acopla al émbolo por medio de algún elemento de sujeción como chaveta, pasador, tornillo, etc., con lo que queda fijado al mismo (figura 9.15).
– **Fijo a la biela.** No suele llevar acoplado casquillo de interposición, ya que no hay movimiento relativo entre el bulón y el pie de biela. En este tipo de ensamble se dispone de casquillo en la unión bulón-biela (figura 9.16).
– **Flotante.** Es muy utilizado, aparte de ser de montaje sencillo, reparte de una manera más equilibrada las cargas por rozamiento entre ambos elementos. La unión se efectúa por medio de casquillos y su ensamblaje al émbolo se hace en frío, ya que al dilatarse queda completamente libre, evitando que se salga por los lados, gracias a la instalación de sendos *circlips* o anillos elásticos en las ranuras, que para ello hay practicadas en el propio émbolo (figura 9.17).




**9.15.** Montaje fijo al pistón.

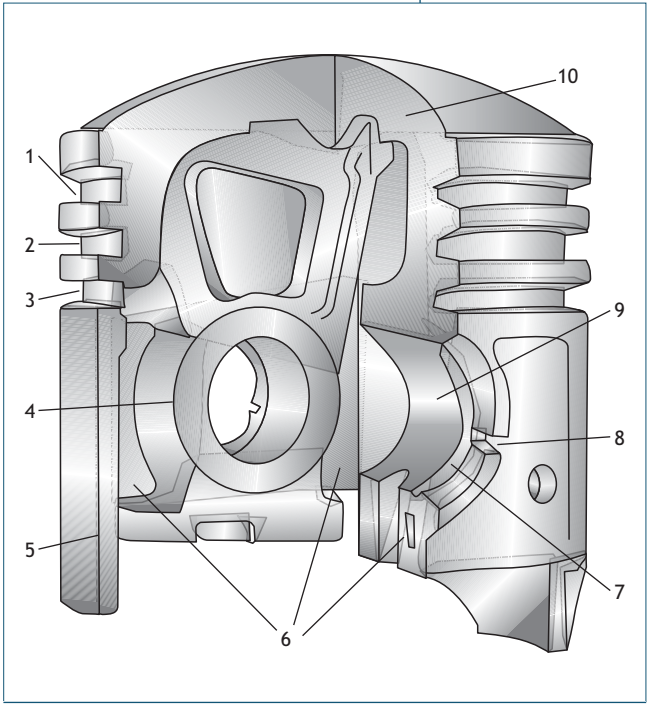



**9.16.** Montaje fijo a la biela.




**9.17.** Montaje flotante.

1 Ranura para segmento de fuego
2 Ranura para segmento de compresión
3 Ranura para segmento de engrase
4 Buje para bulón
5 Cuerpo o falda
6 Placas de acero
7 Ranura para segmento de sujeción
8 Corte para extracción segmento
9 Alojamiento bulón
10 Cabeza




**9.18.** El pistón y sus partes.

## 6 >> Los pistones

**La misión que debe llevar a cabo este elemento es: recibir la fuerza de expansión de los gases, que lo empujan en su carrera descendente. Este a su vez a través del bulón transmite el movimiento a la biela y esta al cigüeñal.**

El pistón debe resistir la carga, debida a las altas presiones, las temperaturas elevadas de la combustión, el calor que en parte se transmite a través de las paredes del cilindro, al líquido refrigerante o al aire, y el desgaste por fricción contra las paredes.

El pistón está construido con aleaciones de aluminio resistentes al calor y con coeficientes de dilatación poco elevados, siendo necesario que su temperatura no supere los 300 a 320 °C, para evitar el gripaje o deterioro de su superficie.

En algunos casos, especialmente en los motores sobrealimentados (con elevadas fuerzas mecánicas y térmicas), se refrigera la parte interna de la cabeza del pistón, con aceite lubrificante a presión que sale de pulverizadores montados en el bloque.

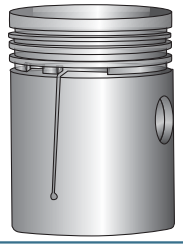
Para conseguir un buen acoplamiento entre la superficie de la camisa cilindro y la del pistón, se construye el cuerpo con una cierta ovalización y conicidad que, en condiciones normales de funcionamiento permiten, al dilatarse el pistón por la elevada temperatura, que tenga una forma lo más cercana posible a la cilíndrica.

La cabeza del pistón tiene un diámetro inferior al de la camisa para compensar las mayores dilataciones térmicas y garantizar la estanquidad mediante los segmentos.

El cuerpo del pistón en cambio tiene un diámetro muy preciso, sobre todo para disminuir el ruido durante el funcionamiento en frío.

### Coeficiente de dilatación

El coeficiente de dilatación es un número que expresa el valor de la dilatación experimentada en cada tipo de material por unidad de longitud, superficie o volumen al aumentar la temperatura.



**9.19.** Pistón con ranura de dilatación.

### 6.1 > Tipos de pistones en cuanto a su trabajo

En cuanto a su trabajo, los pistones se pueden clasificar en diversos tipos, primando en esta primera clasificación de los mismos los empleados en función de las características propias a nivel de posibilidades por su fabricación para soportar o evacuar el calor interno (dilatación térmica) recibido en el momento de la expansión de los gases, y son los siguientes:

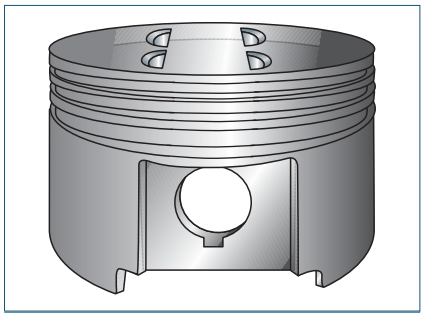
– **Pistones fundidos.** La cabeza de pistón, la zona de segmentos y el bulón forman una unidad robusta. Los pistones fundidos tienen una larga vida útil y trabajan en motores de gasolina y diésel. Su área de aplicación es muy extensa, desde motores de modelismo hasta los grandes motores.

– **Pistones forjados.** Estos pistones se encuentran principalmente en motores de serie de cargas altas y en motores de carreras. Debido al proceso de fabricación, disponen de una resistencia elevada, lo que posibilita secciones de pared más pequeñas y menores pesos de pistón, para alcanzar así mayores regímenes de giro.
– **Pistones con ranuras de segmentos y casquillo de bulón.** Estos pistones para motores diésel tienen un porta-segmentos metálico de hierro fundido especial, unido de forma fija con el material del pistón para conseguir un aumento de la resistencia al desgaste, especialmente en la primera ranura en el caso de los motores diésel. Para incrementar la capacidad de carga del bulón estos pistones tienen casquillos de bulón de un material especial.
– **Pistones con ranuras de segmentos refrigerados.** En el caso de estos pistones se combina la portadora de segmentos y el canal de refrigeración en un procedimiento de fabricación especial formando un sistema. Por ello, estos pistones disponen de una evacuación del calor notablemente mejor, sobre todo en la primera ranura de segmento.
– **Pistones con ranuras de segmentos, canal de refrigeración y protección adicional en la cabeza.** Empleados en motores diésel sometidos a altas cargas. Como protección adicional y para evitar grietas en los bordes de la cámara y en la cabeza, estos pistones disponen de una capa especial de anodización dura (capa HA) en la cabeza del pistón.
– **Pistones con ranuras de segmentos y canal de refrigeración.** Se utilizan allí donde predominan las temperaturas de servicio especialmente altas. A causa de las altas temperaturas en la cabeza del pistón y en la parte de los segmentos, se realiza una refrigeración intensiva a través del aceite que circula en el canal de refrigeración.

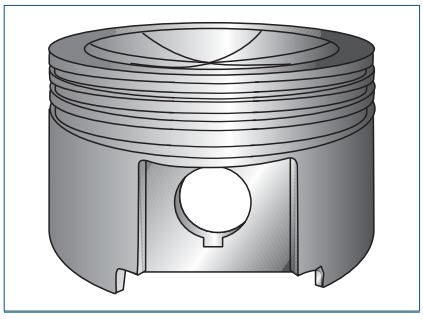
## 6.2 > Tipos de pistones en cuanto a su forma constructiva

En una primera clasificación atendiendo a la forma de la cabeza se podrían dividir los pistones en dos tipos:

– Pistón de cabeza plana con concavidades laterales para las válvulas (figura 9.20).
– Pistón con cabeza rebajada cóncava (figura 9.21).



**9.20.** Pistón de cabeza plana.

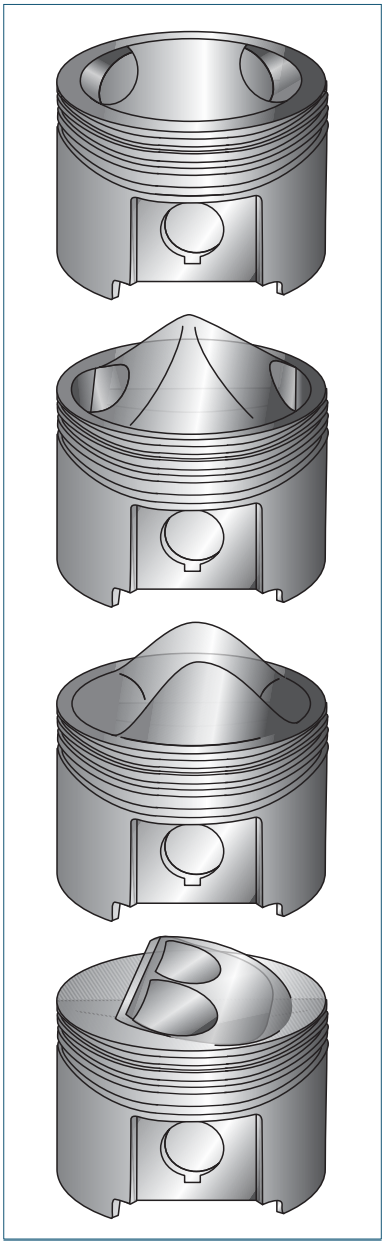


**9.21.** Pistón con cabeza rebajada cóncava.

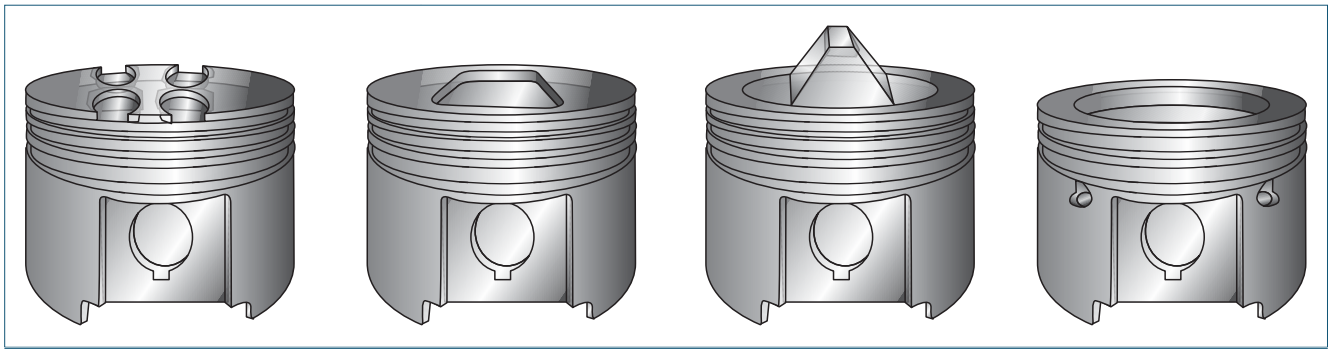
Aunque la clasificación puede ser muy variada, dependiendo del tipo de distribución, exigencias del fabricante de vehículos al proveedor de motores, etc. Como se puede ver en las figuras 9.22 y 9.23.

### Capa de anodización

Mediante un recubrimiento electrolítico se deposita una capa de óxido de aluminio sobre la superficie de la aleación correspondiente. Esta capa es porosa y muy dura, además de poseer resistencia a la corrosión y al desgaste.



**9.22.** Tipos de pistones según cabeza (I).



**9.23.** Tipos de pistones según cabeza (II).

## 6.3 > Verificación y diagnosis de los pistones

A la hora de verificar los pistones hay que tener en cuenta la siguiente sintomatología, y sus posibles causas:

– **Rumorosidad excesiva.** Puede estar producida por:
  - Un elevado juego entre el pistón y el cilindro, o entre el pistón y el bulón.
  - Una mala alineación entre el pistón y la biela.
  - Una interferencia entre el pistón y el bulón, en caso de que este último lleve el montaje flotante.

– **Excesivo consumo de aceite.** Motivado entre otras razones por:
  - Un juego elevado entre el pistón y el cilindro.
  - Un mal acople entre el pistón y los segmentos.
  - Una mala alineación del pistón con respecto a la biela.

Una vez desmontados los pistones que se quieran verificar hay que limpiarlos exhaustivamente y realizar las siguientes comprobaciones:

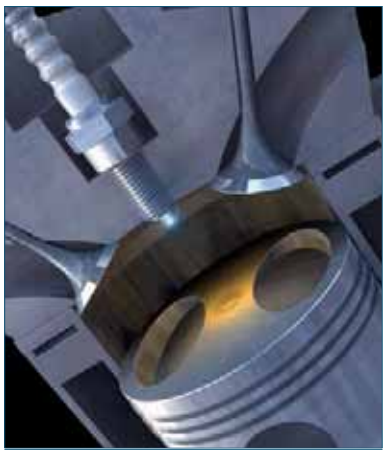
1. **Búsqueda de posibles grietas en el pistón.** Generalmente están causadas por fisuras en el material o por defectos en el montaje del bulón. Estas grietas se pueden observar a simple vista perfectamente, y una vez detectadas hay que proceder a la sustitución de los pistones afectados.

2. **Juego entre el pistón y el cilindro o camisa.** Está motivado por el propio funcionamiento del pistón en el interior del cilindro, siendo normalmente detectado en el propio cilindro o bien en los segmentos. Ambas piezas están sometidas a continuos rozamientos internos y como consecuencia de ello sufren un intenso desgaste.

3. **Bulón gripado o agarrotado** (generalmente en montajes flotantes). Suele ser debido a problemas con la dilatación térmica del material por una mala evacuación (poniéndose de manifiesto cuando se desmonta el mismo). Es importante saber que el valor de tolerancia de ajuste es de 0,05 mm.

4. **Huelgo de bulón con el pistón.** Causado por el continuo exceso de fuerza al que están sometidos estos dos elementos en su propio ciclo de trabajo, produciéndose un continuo desgaste por los rozamientos que sufren. Si no existe ningún tipo de holgura, la distancia entre el bulón y el pistón suele ser de 0,01 mm. En el caso de que esta distancia fuera mayor habría que rectificar con un escariador el hueco del mismo y se tendría que colocar un nuevo bulón de sobremedida.

**Práctica 11**



**9.24.** Pistón en el interior del cilindro.

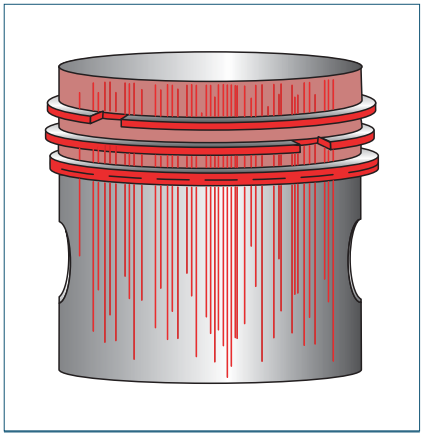
5. **Control del peso de los pistones:** para conseguir que el conjunto esté equilibrado y no existan diferencias sustanciales de peso entre ellos. Sabiendo que si la diferencia entre dichos pesos es superior a la prevista, se puede solucionar eliminando material en los puntos dispuestos para tal efecto en el plano inferior del pistón.

## 6.4 > Deterioros en los pistones

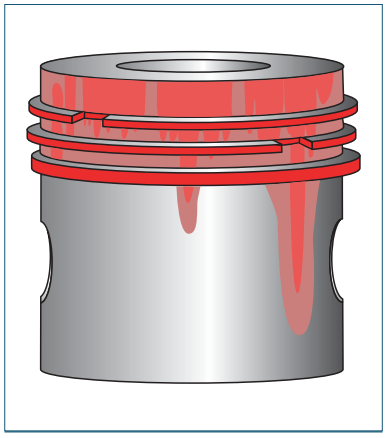
Los deterioros sufridos por los pistones o en los pistones pueden ser motivados por diferentes causas y presentar las siguientes anomalías:

– **Perforación en la cabeza del pistón:** los bordes agudos, los depósitos de carbonilla, o bien la bujía misma por deterioro, pueden causar autoencendido, actuando como una bujía incandescente y provocando el encendido prematuro de la mezcla, incrementando de manera considerable la temperatura y presión dentro de la cámara de combustión hasta el punto de «quemar» (perforar) un agujero en la cabeza del pistón (figura 9.25).
– **Segmentos pegados y arrastrados:** motivado por una mezcla demasiado rica que «lavará» el aceite de la pared del cilindro provocando un exceso de formación de carbonilla, con el consiguiente arrastre y pegado de los segmentos (figura 9.26).

**9.25.** Cabeza del pistón perforada.

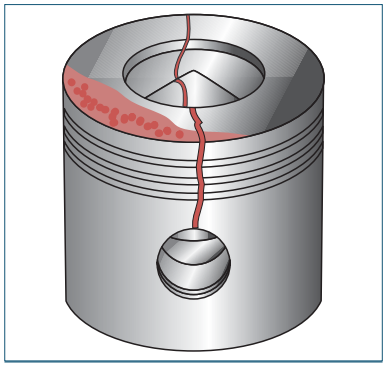


**9.26.** Segmentos pegados al pistón.



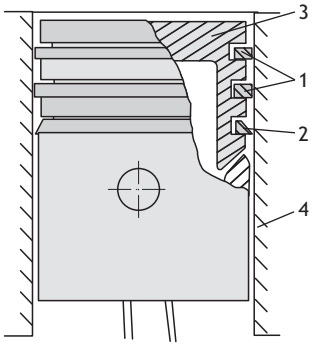
**9.27.** Daños por segmentos desgastados.

– **Segmentos obstruidos y desgastados:** esto se hace evidente al observar que por el tubo de escape sale humo azul, y suele ir acompañado por un exceso de consumo de aceite; siendo estos síntomas señal de que los segmentos están destruidos, pegados o desgastados. Esto generalmente puede ser achacable a un mal mantenimiento en lo referente a cambios de aceite y filtros (figura 9.27).
– **Fisuras en la cabeza del pistón:** frecuentemente causadas por una reparación mal efectuada en el motor (bloque) o en la culata, que después de haber sido rectificados, no se han colocado los espesores adecuados de junta, por lo que, cuando el pistón alcanza el punto muerto superior puede golpear contra alguna parte saliente de la culata. Teniendo en cuenta que el material de los pistones es más blando que el hierro fundido, sufrirá sobreesfuerzos y roturas por los golpes (figura 9.28).



**9.28.** Cabeza del pistón rota.

1 Segmentos de compresión
2 Segmento de engrase
3 Pistón
4 Cilindro




**9.29.** Situación de los segmentos en el pistón.

## 7 >> Los segmentos

Los segmentos o anillos elásticos, situados en las ranuras practicadas en el exterior de los pistones, cumplen las siguientes misiones:

– Hermetizar el cilindro y el pistón.
– Transmitir parte del calor hacia las paredes de los cilindros.
– Engrasar las paredes del cilindro, al recoger aceite en su segmento correspondiente.

Cuando los segmentos no están montados en el pistón, tienen un mayor diámetro exterior que el diámetro interior del cilindro en donde van alojados. Esta característica, les dota de la elasticidad necesaria para llevar a cabo su misión de hermetizar, al ir ajustándose su diámetro a la pared del cilindro aunque esta no esté perfectamente uniforme y a igual medida en toda su longitud.

### 7.1 > Formas constructivas de los segmentos

La forma de construcción de los segmentos es muy variada como puede comprobarse en la figura 9.30, ya que depende de múltiples y variadas exigencias, teniendo a modo de orientación las siguientes:

– **Tipo A:** como segmento de fuego, revestido de aleación de cromo y espesor de 0,06 a 1 mm.
– **Tipo B:** como segmento de estanqueidad, gracias a su diseño, durante el proceso de rodaje se acelera su asiento circular en el cilindro.

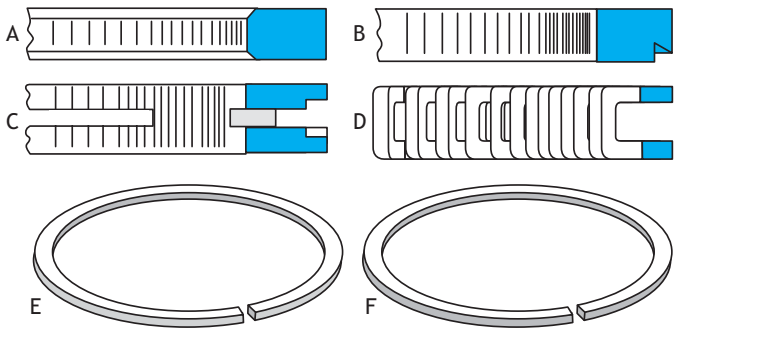
**9.30.** Diferentes tipos de segmentos.

– **Tipo C:** como segmento rascador, haciendo perfectamente su trabajo gracias a su forma cónica en la parte interior y cilíndrica en la exterior.
– **Tipos D y E:** generalmente usados en motores diésel gracias a su diseño, ya que tienden a disipar mucho mejor el calor interno porque pueden ir basculando y así evitar quedar clavados.
– **Tipo F:** igual que los otros en su exterior pero en su canto interior lleva un resorte de acero asegurando una mayor superficie de contacto con el cilindro.
– **Tipos G y H:** son de engrase y, como se ve, tienen forma de U, para permitir pasar el aceite a través suyo y luego a través del cárter, pudiendo tener diferentes formas en su exterior.
– **Tipo I:** empleado también como de engrase, posee un aro de acero a modo de expansor como en el tipo F, permitiendo asegurar mayor presión sobre el cilindro.
– **Tipo J:** son de los tres tipos genéricos pero aparte de servir de segmentos se emplean para equipos de reparación, asegurando así que durante el rodaje el consumo de aceite prácticamente sea inexistente.

## 7.2 › El trabajo de los diferentes segmentos

El trabajo viene dado por el orden de su colocación en la cabeza del pistón, además de por los materiales empleados para poder cumplir sus misiones específicas, por lo que a continuación se detallan uno a uno:

– **Segmentos de compresión o de fuego,** suelen ser de sección rectangular. Se instalan en la parte superior del pistón y están montados en parejas, asegurando que los gases de la cámara no pasen al bloque. Tienen tratamientos especiales para reducir el rozamiento y para aumentar la resistencia a la abrasión (comerse material del cilindro asegurándose su asiento) al comienzo de su funcionamiento.
– **Segmentos rascadores o de compresión,** con sección en forma trapezoidal, deben impedir que el aceite pase entre el cilindro y el pistón hacia la cámara, y a su vez, asegurar que exista una película de aceite para el engrase del pistón, asegurándose así que no se quede pegado al cilindro por sobrecalentamiento.
– **Segmentos de engrase,** con sección en forma de C achaflanada y colocados por debajo de los rascadores, tienen por misión eliminar de la pared del cilindro el exceso de aceite existente reduciendo con ello el paso de aceite a la cámara de compresión. Se trata de reducir el consumo de aceite consiguiendo una lubricación del pie de biela y bulón, retornando el aceite al cárter.




**9.31.** Tipos de segmentos según su trabajo.

**Abrasión**

Se conoce la abrasión como el desgaste producido en una superficie metálica por medio de fricción.

## 7.3 > Comprobación de anomalías en los segmentos

Debido a las específicas y duras condiciones de trabajo, se pueden producir pérdidas de rendimiento en el motor e inclusive pueden dar lugar a graves problemas en el mismo.

Hay que tener en cuenta la siguiente sintomatología aplicable al pistón, así como las posibles causas de la misma, para poder realizar un buen control del elemento:

– **Excesivo consumo de aceite debido a:**
  - Un exceso de juego entre el pistón y el cilindro.
  - Un mal acople entre los segmentos y el pistón.
  - Una mala alineación entre el pistón y la biela.

– **Alta rumorosidad achacable a:**
  - Una holgura excesiva entre pistón y cilindro, o entre el pistón y su respectiva biela.
  - Una mala alineación biela-pistón.
  - Una interferencia entre pistón y bulón. Esto último sucede en los montajes flotantes.

Aparte de estas anomalías es importante tener en cuenta que los segmentos también pueden sufrir algunos problemas. Los que nos podemos encontrar de forma más frecuente son los siguientes:

– **La rotura de los segmentos es debida a:** una rotura en la ranura de su alojamiento lo que impide una óptima dilatación. Puede llegar a fracturarse, con el peligro que ello conlleva, ya que de entrar en el cilindro originaría daños muy graves en el motor.
– **El pegado de los segmentos es motivado por:** un exceso de calor en el pistón, lo que da lugar a que los segmentos puedan llegar a soldarse al pistón, originando la pérdida de potencia del motor, y por consiguiente, la apertura del motor para su reparación.
– **Un desgaste rápido en los segmentos es achacable a:** combustiones incompletas, mal montaje de los segmentos, entrada de residuos en el cilindro, o bien, a regímenes de giro demasiado altos, un lubrificante de mala calidad o mal plan de mantenimiento del mismo y, entre otras, también cabe reseñar que demasiadas cargas en frío pueden llevar al desgaste prematuro de los segmentos, debido a que no han alcanzado su temperatura óptima de funcionamiento y, por ello, los desgastes son mayores de lo previsto.

Igualmente es conveniente relizar las siguientes verificaciones para asegurarnos de que los segmentos están en un buen estado:

– Control del juego axial de los segmentos. En necesario que el segmento vaya introducido dentro de la ranura correspondiente sin presentar una excesiva holgura, pues esto produciría perdidas de compresión ente los huecos y el quemado de aceite.
– Control de la apertura de los segmentos. Mediante esta prueba se localizan los segmentos que tienen un excesivo desgaste en la zona de rozamiento con el cilindro.

## Actividades finales

1·· Describe el proceso de desmontaje de la unión biela-pistón (por ejemplo: en un montaje flotante).

2·· ¿Por qué es importante verificar el cigüeñal? Nombra los controles que hay que hacer.

3·· ¿Qué pruebas se realizan a las bielas? ¿Por qué son importantes?

4·· ¿Qué diferencias crees que hay entre la excentricidad y la conicidad?

5·· ¿En cuántos tipos de estados se pueden presentar los casquillos?

6·· Cita las precauciones que se tienen que tomar a la hora de montar los segmentos.

7·· ¿Cómo crees que se justifica la presencia del volante de inercia en un motor?

8·· ¿Qué misiones crees que tienen los segmentos?

9·· ¿Cómo se hace la unión entre las bielas y los pistones?

10·· Dibuja un pistón y enumera las partes en que se divide el mismo.

11·· ¿Cuándo crees que se debe rectificar un cigüeñal?

12·· ¿Cuáles son las partes de la biela?

13·· ¿Te suena el mecanismo biela-manivela? Indica en qué afecta al motor.

14·· ¿Qué son los casquillos o cojinetes de biela? ¿Para qué crees que se utilizan en el motor?

15·· ¿A qué es debido un consumo de aceite elevado en un motor? Define algún elemento que pueda ser responsable de ello, razonando tu respuesta.

16·· En un montaje flotante, ¿qué elementos se colocan a ambos lados del bulón? ¿Para qué crees que sirven?

17·· De los siguientes factores indica cuál de ellos afecta a la velocidad media del pistón.

- Las revoluciones del cigüeñal.
- El diámetro del cilindro.
- La longitud de la biela.
- La distancia entre el PMS y el PMI.

18·· ¿Cuántos apoyos le corresponden normalmente a un cigüeñal para un motor de 4 cilindros en línea?

19·· ¿Por qué causas la cabeza de un pistón se puede encontrar perforada?

20·· ¿A qué tipos de fuerzas está sometida la biela durante su funcionamiento?

21·· ¿Cómo suele ser el perfil del cuerpo de la biela? ¿Qué ventajas se consiguen con este tipo de perfil?

22·· ¿Qué entiendes por gripado?

## Caso final

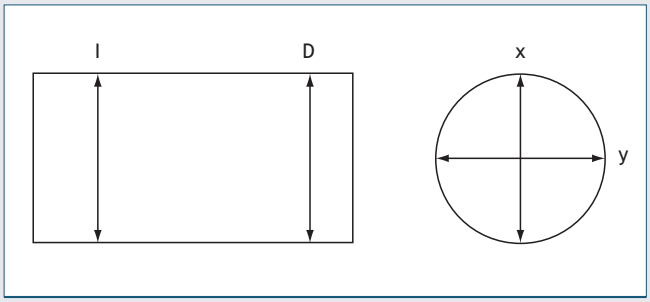
### Interpretación de las medidas realizadas en el tren alternativo

•• Se dispone en el taller de un bloque motor montado sobre un soporte. Se trata de observar el funcionamiento, realizar una serie de medidas, y a la vista de los resultados obtenidos en las comprobaciones contestar a las siguientes preguntas:

a) Para un número fijo de revoluciones, ¿la velocidad del pistón es constante? Si la respuesta es no, explícalo con un ejemplo práctico.
b) En un cigüeñal de 5 apoyos se hacen 4 medidas diferentes obteniendo los siguientes resultados:

| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | D | I | D | I | D | I | D | I | D |
| X | 59,75 | 59,63 | 59,84 | 59,85 | 59,63 | 59,80 | 59,81 | 59,62 | 59,48 | 59,52 |
| Y | 59,64 | 59,72 | 59,56 | 59,58 | 59,50 | 59,71 | 59,61 | 59,58 | 59,40 | 59,65 |

Las medidas I y D son medidas realizadas sobre un plano longitudinal y las medidas X e Y son medidas sobre un plano transversal según la figura 9.32; todas las cotas están dadas en milímetros.




**9.32.** Medidas en apoyos del cigüeñal.

En función de los resultados obtenidos, ¿qué se debería hacer con el cigüeñal?

### Solución ••

a) La respuesta correcta es no, el pistón no lleva una velocidad constante, se está acelerando y decelerando en cada carrera.

Para comprobarlo vas a realizar la siguiente prueba:

- Sitúa el pistón número 1 en el PMS.
- Con un sector graduado divide los grados correspondientes a una carrera (180°) en 6 partes (30° cada una).
- Con un calibre mide la longitud a la cual se encuentra el pistón del punto muerto superior a medida que vas moviendo el cigüeñal: giros de 30° según la figura 9.33.

Con una carrera del pistón de 80 mm se obtienen las siguientes medidas:

- En los primeros 30° el punto A del pistón pasa a la posición 1, si mides con el calibre desde el plano superior del bloque hasta la cabeza del pistón la distancia es de 5,35 mm.

- Girando otros 30°, el punto A alcanzará la posición 2 encontrándose el pistón a una distancia del PMS de 20 mm. Es decir, que se ha desplazado para el mismo ángulo de giro una distancia de:

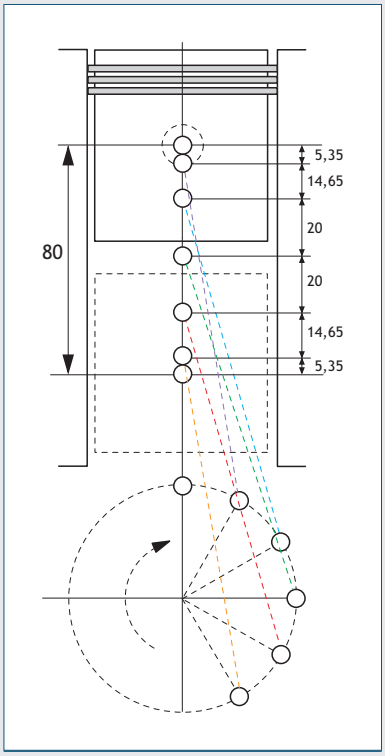
  20 mm − 5,35 mm = 14,65 mm

- Si sigues girando el cigüeñal 30° más, ahora la distancia será de 40 mm, justo la mitad de la carrera. Por lo tanto el desplazamiento en este caso será de:

  40 mm − 20 mm = 20 mm

- En la otra mitad de la carrera los desplazamientos serán igual pero a la inversa. De esta forma se desplazará el pistón cada 30°:

  20 mm, 14,65 mm y 5,35 mm.




**9.33.** Diferentes trayectorias de la biela a lo largo de una carrera.

## Conclusión ··

El pistón lleva una velocidad lineal más lenta cuando está más cerca de los puntos muertos, y consigue su máxima velocidad justo a la mitad de la carrera.

b) Una vez realizadas las medidas hay que calcular la conicidad y el ovalamiento en cada uno de los apoyos, según la tabla adjunta. Consultando el manual técnico en este caso dice que el diámetro nominal de los apoyos es de 60 mm, que la máxima cantidad de material que admite este cigüeñal para rectificar es de 0,75 mm y que existen cojinetes de sobremedida con una diferencia de grosor entre ellos de 0,25 mm.

| | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | D | Con | I | D | Con | I | D | Con | I | D | Con | I | D | Con |
| X | 59,75 | 59,63 | 0,12 | 59,84 | 59,85 | 0,01 | 59,63 | 59,80 | 0,17 | 59,81 | 59,62 | 0,19 | 59,58 | 59,53 | 0,05 |
| Y | 59,64 | 59,72 | 0,12 | 59,56 | 59,58 | 0,02 | 59,53 | 59,71 | 0,18 | 59,61 | 59,58 | 0,03 | 59,52 | 59,65 | 0,13 |
| Ova | 0,11 | 0,11 | | 0,28 | 0,27 | | 0,10 | 0,09 | | 0,20 | 0,04 | | 0,06 | 0,12 | |

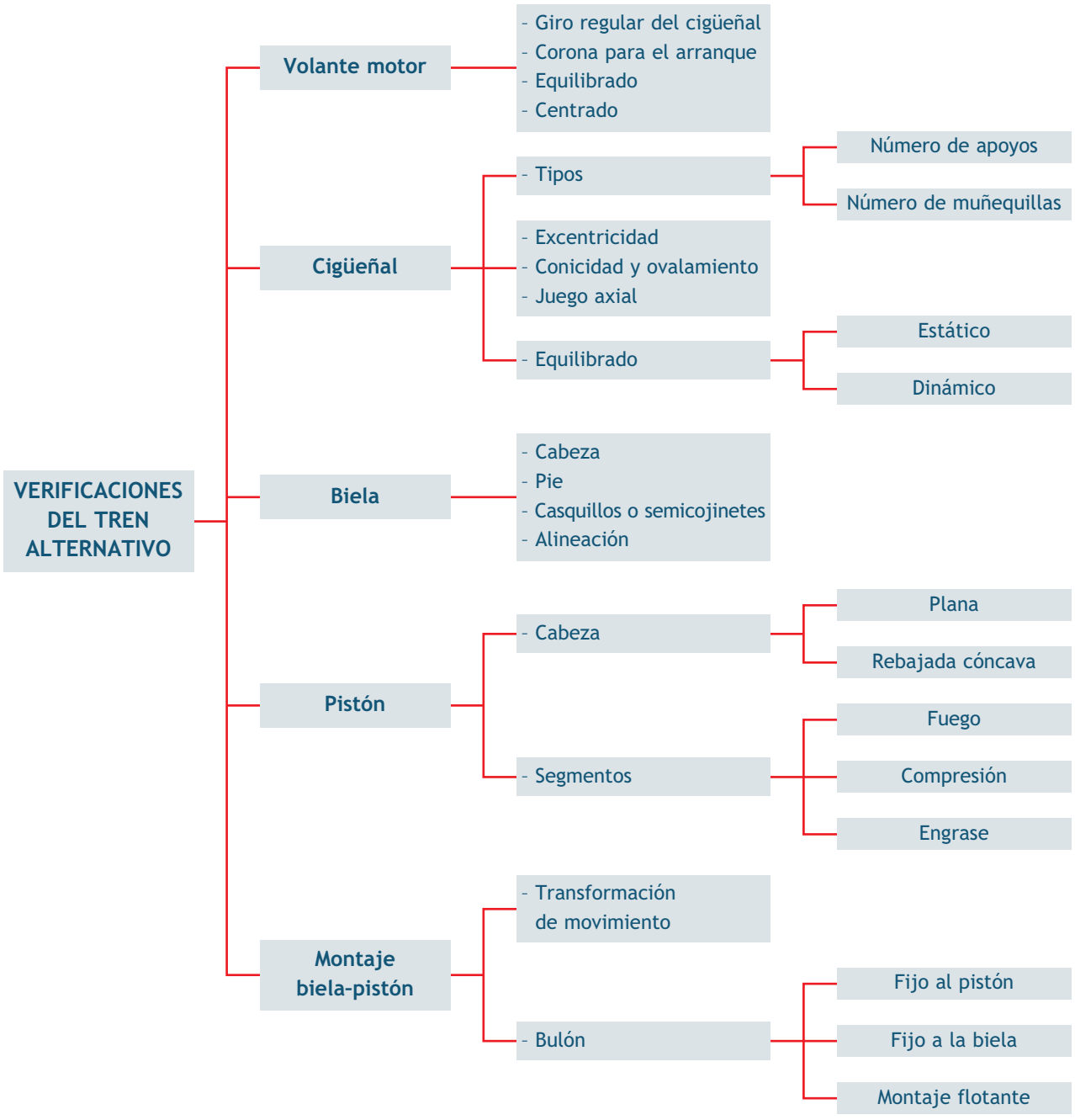
Una vez realizados los cálculos tienes que tomar la determinación de qué hacer con el cigüeñal.

En este caso tenemos que la diferencia de medida más desfavorable es la que corresponde al ovalamiento del apoyo número 2, que es 0,28 mm.

El diámetro más pequeño es de 59,52, medido en el apoyo número 5. Con lo cual la holgura máxima será de 0,48 mm.

Para corregir tanto el ovalamiento como la holgura de montaje, será necesario rectificar rebajando el diámetro en 0,5 mm. De esta forma el nuevo diámetro será de 59,50 mm y hay que cambiar los cojinetes por otros de sobremedida que tengan un grosor de 0,50 mm mayor.

## Ideas clave


VERIFICACIONES DEL TREN ALTERNATIVO
Volante motor
- Giro regular del cigüeñal
- Corona para el arranque
- Equilibrado
- Centrado
Cigüeñal
- Tipos
Número de apoyos
Número de muñequillas
- Excentricidad
- Conicidad y ovalamiento
- Juego axial
- Equilibrado
Estático
Dinámico
Biela
- Cabeza
- Pie
- Casquillos o semicojinetes
- Alineación
Pistón
- Cabeza
Plana
Rebajada cóncava
- Segmentos
Fuego
Compresión
Engrase
Montaje biela-pistón
- Transformación de movimiento
- Bulón
Fijo al pistón
Fijo a la biela
Montaje flotante

# EL MOTOR PENDULAR

El pistón pendular ha significado un gran avance tecnológico con repercusiones beneficiosas tanto ecológica como socialmente. Con el uso de estos motores se logra un importante ahorro de energía, acompañado de un aumento de potencia, al mejorar el mecanismo de los motores que produce la transformación de la energía en movimiento. Por otro lado, se consigue una contaminación menor del ambiente con relación al pistón tradicional cilíndrico con faldas.

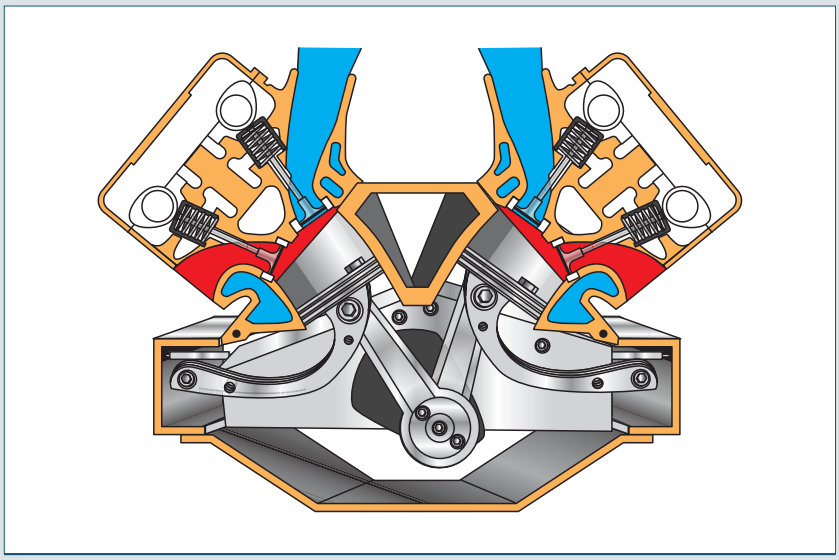
El planeta se ha convertido en una sociedad global en donde su futuro depende del reparto de las riquezas y el bienestar social, y el uso racional de la energía limpia. El hombre y sus actividades han provocado un exceso de contaminación, que está poniendo en peligro la vida tal y como la conocemos hoy en día.

Desde el año 1856, el pistón alternativo cilíndrico con faldas ha ayudado al desarrollo humano, pero al mismo tiempo también ha participado en la contaminación atmosférica del planeta, aumentando hoy el peligro de las alteraciones climáticas que producen, entre otras cosas, la elevación de la temperatura por el efecto invernadero.

## Ventajas del motor pendular

– La masa de los pistones está optimizada al máximo, reduciendo el peso, el volumen y la inercia en el movimiento, pudiéndose aumentar el número de revoluciones.
– Los pistones rotativos oscilantes pendulares no rozan ni friccionan las paredes de los cilindros, no necesitando lubricación.
– Se desplaza en forma paralela en todo el recorrido del mismo, desde un centro con rodamientos por un brazo que lo une; esto impide el desgaste y la pérdida de rendimiento por tensión superficial del aceite, presión axial e inercia, consiguiendo un ahorro de energía eléctrica y combustible para realizar el mismo trabajo.
– En los compresores, el aire que se comprime o expulsa al exterior no contiene vapores de aceite mineral, el cual contamina mucho el medio ambiente, siendo además tóxico y cancerígeno.
– Poseen mucho mayor vida útil, rendimiento y aplicación que las mejores máquinas de pistones con cilindros rectos, o sistemas rotativos.

**Fuente:** http://www.blogcoche.es/index.php/20...motor_pendular



**9.34.** Motor pendular de un Fórmula 1.

unidad 10

# Sistemas de distribución

## SUMARIO

- Tipos de distribución
- Válvulas
- Balancines
- Taqués
- Varillas empujadoras
- Árboles de levas
- Sistemas de mando

## OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento, características y tipos de distribución.
- Analizar el comportamiento interno de cada uno de los elementos que componen los diferentes sistemas de distribución.
- Utilizar los conceptos tecnológicos previos para entender las diferentes transmisiones de movimiento.
- Localizar las ventajas e inconvenientes de cada tipo de distribución.

# 1 >> Introducción al estudio del sistema de distribución

**El sistema de distribución es el encargado de sincronizar la apertura y el cierre de las válvulas con los movimientos del pistón.**

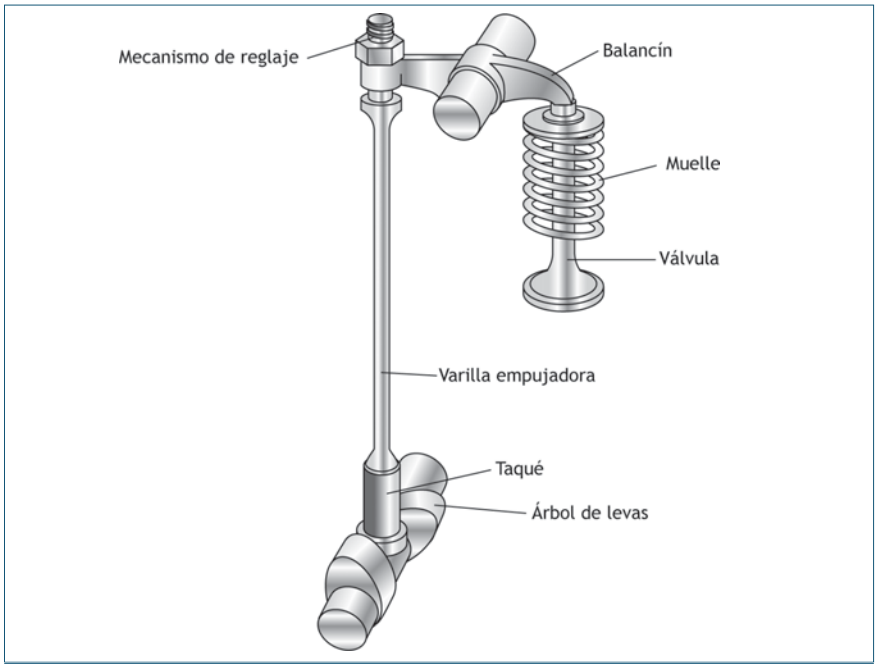
Mediante el sistema de distribución se consigue que las válvulas de escape y admisión comiencen a abrirse y cerrarse cuando el pistón se encuentra en un punto determinado.

Para conseguir la apertura y cierre de las válvulas se necesitan una serie de elementos intermedios que transformen el movimiento circular del cigüeñal en un movimiento longitudinal alternativo de las válvulas.

El diseño de la distribución juega un papel importante respecto al rendimiento conseguido por el motor, ya que con este sistema podemos variar el llenado del cilindro y por tanto la presión de combustión, reducir el consumo para una misma potencia y minimizar los gases contaminantes. El momento exacto de apertura y cierre de válvulas, así como el número de grados que permanecen abiertas, es diferente para cada motor; para conseguir las cotas ideales en cada caso se realizan numerosos estudios y pruebas.

Independientemente del tipo de distribución empleado, siempre se cumplirá la condición de que para cada ciclo completo tanto las válvulas de admisión como las de escape se abrirán una única vez. Los grados de apertura están determinados por las formas y dimensiones de las levas. Para que esto se cumpla es necesario que el árbol de levas gire una vuelta por cada dos vueltas del cigüeñal.

En la figura 10.1 se representa un sistema de distribución tradicional con sus elementos.




**10.1.** Sistema de distribución tradicional.

### Relación de transmisión

La relación de transmisión es un número que indica cuántas vueltas gira un piñón respecto a otro que le transmite movimiento. Para calcularla se divide el número de dientes del piñón conducido entre el número de dientes del piñón motriz.

En el caso del cigüeñal y el árbol de levas tenemos que:

$$Rt = \frac{Z_{al}}{Z_c} = 2$$

Siendo:

Rt: relación de transmisión.

$Z_{al}$: número de dientes del piñón del árbol de levas.

$Z_c$: número de dientes del piñón del cigüeñal.

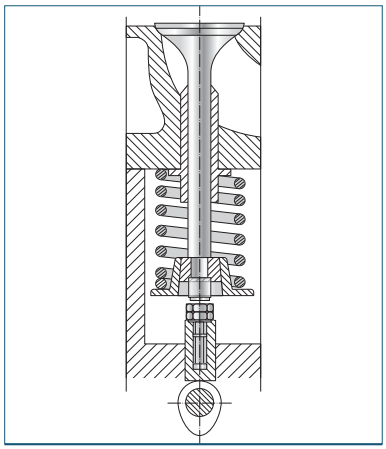
Por tanto, el número 2 indica que por cada dos vueltas del cigüeñal el árbol de levas hace un giro completo.

## Vocabulario

**Fuerza de inercia:** resistencia que ofrece la masa de un cuerpo al modificar su estado de reposo o de movimiento.
**Dilatación:** aumento de las dimensiones de un cuerpo a consecuencia del aumento de la temperatura.

### Sistema SV

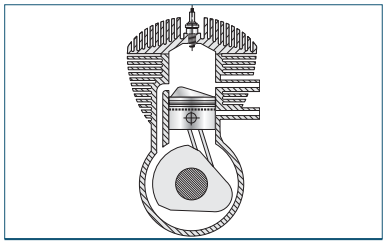
En este caso todos los órganos de la distribución están dentro del bloque.
El árbol de levas, arrastrado por una cadena o por varios piñones fue muy utilizado en su día, aunque en estos momentos es un sistema en desuso.



**10.2.** Sistema SV.

### Sistema de admisión y escape por lumbreras

Los motores de 2 tiempos llevan unos huecos mecanizados en la pared del cilindro, llamados lumbreras, para la entrada y salida de gases.



**10.4.** Sistema de lumbreras.

Los tipos de distribución más empleados actualmente son:

– OHV *(Overhead Valves).* El árbol de levas está situado en el bloque.
– OHC *(Overhead Camshaft).* El árbol de levas está situado en la culata.
– DOHC *(Double Overhead Camshaft).* Hay dos árboles de levas situados en la culata.

## 1.1 > Distribución OHV

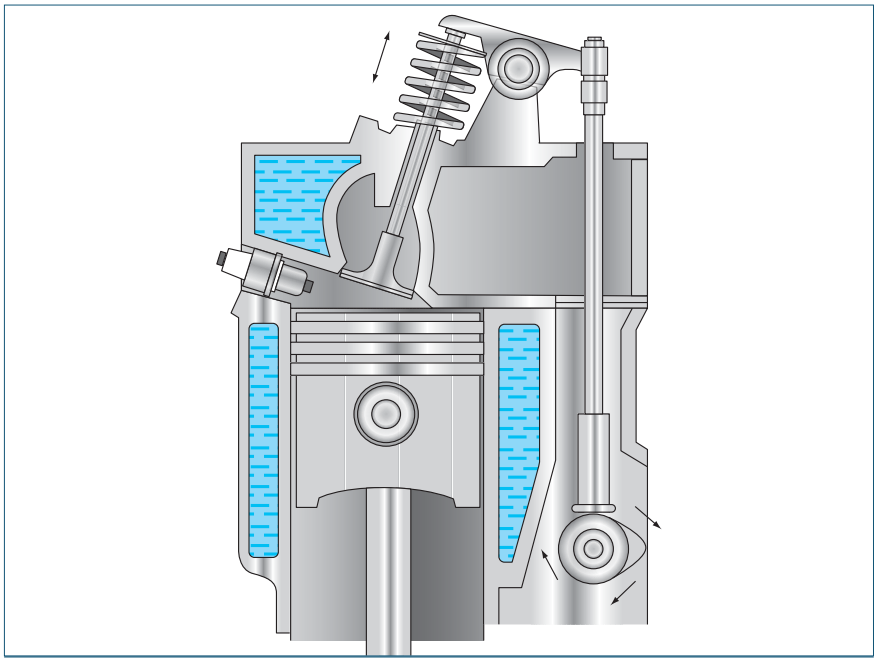
**Los sistemas de distribución OHV tienen el árbol de levas montado en el bloque y el movimiento se transmite a la válvula desde la leva mediante un empujador o taqué, una varilla empujadora y un balancín que gira sobre el eje respectivo (figura 10.3).**

El accionamiento se produce cuando al girar la leva empuja al taqué que al estar en contacto con la varilla empujadora hace que esta también se desplace transmitiendo el movimiento al balancín, el cual al girar sobre el eje y venciendo la fuerza del muelle, hace que se produzca la apertura de la válvula. Cuando la leva deja de accionar sobre el taqué el muelle tiende a ocupar su posición original produciendo el cierre de la válvula.

El principal problema de este sistema es la distancia que existe entre el árbol de levas y las válvulas, pues son elementos intermedios necesarios que, sobre todo a altas revoluciones, se ven afectados por las fuerzas de inercia.

Otro inconveniente es que al existir mayor cantidad de elementos en la transmisión se producen mayores dilataciones, siendo más difíciles los ajustes a las diferentes temperaturas de funcionamiento.

Su principal ventaja es que el piñón motriz, situado en el cigüeñal, y el piñón conducido, situado en el árbol de levas, se encuentran a una pequeña distancia, con lo cual la cadena que los une posee una longitud relativamente corta.



**10.3.** Distribución OHV.

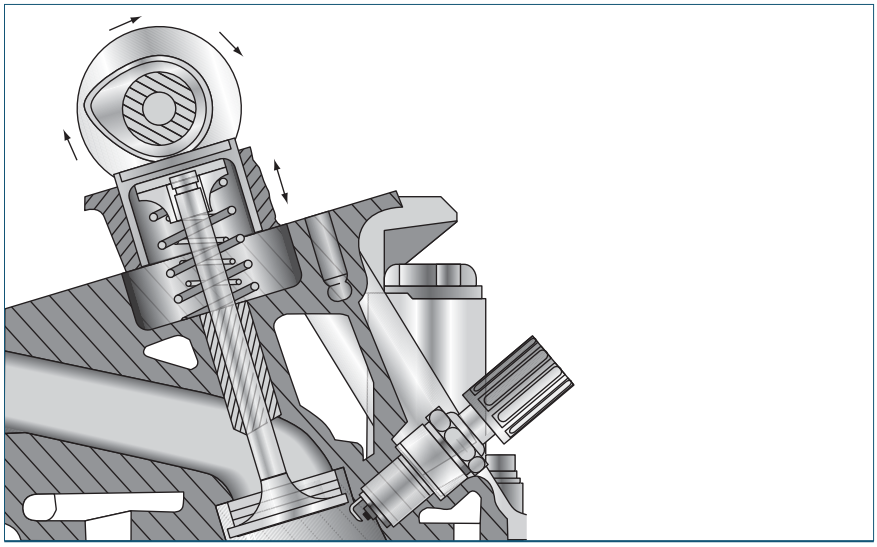
## 1.2 > Distribución OHC ó SOHC

**El árbol de levas en los sistemas de distribución OHC está situado en la parte superior de la culata, con lo cual son necesarios menos elementos intermedios y de esta manera se producen menos fuerzas de inercia y es posible alcanzar revoluciones superiores.**

El sistema puede estar compuesto de:

– Árbol de levas, balancín y válvula (figura 10.5).
– Árbol de levas, empujador y válvula (figura 10.6).

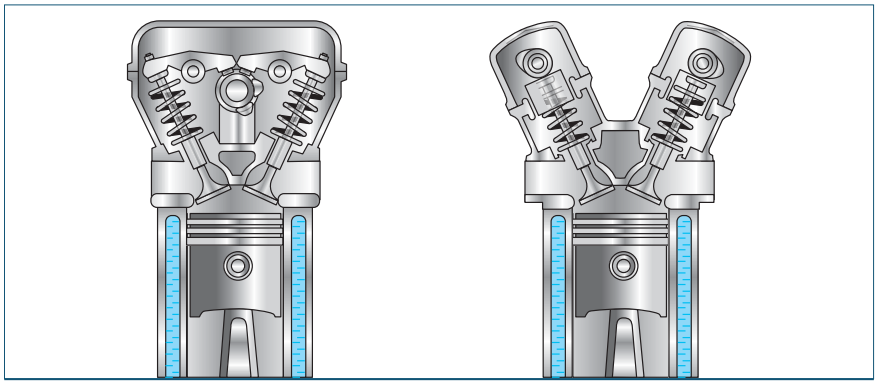
El inconveniente de este sistema es la distancia que existe entre los piñones de accionamiento, pero aun así resulta un sistema muy utilizado.



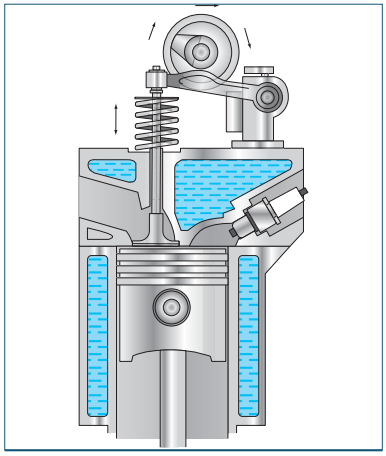
**10.6.** Distribución OHC con empujador.

## 1.3 > Distribución DOHC

**El sistema de distribución DOHC es utilizado en distribuciones multiválvulas donde las válvulas de admisión van situadas en un lateral y las válvulas de escape en el otro, disponiendo de un árbol de levas para cada tipo de válvulas (figura 10.7).**



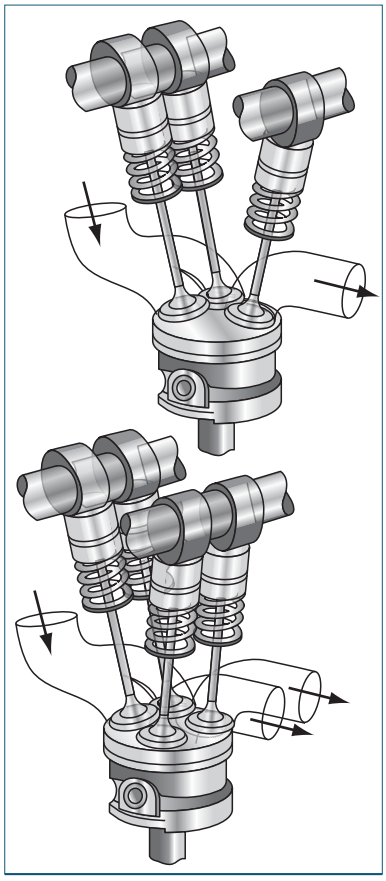
**10.7.** Distribución DOHC.



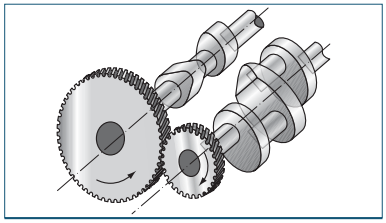
**10.5.** Distribución OHC con balancín.

### Distribución multiválvulas

Cuando el número de válvulas por cilindro es superior a 2, al menos una de admisión y otra de escape, se considera distribución multiválvulas, pudiendo ser 3, 4, 5 o incluso más válvulas por cilindro.



**10.8.** Distribución multiválvulas.



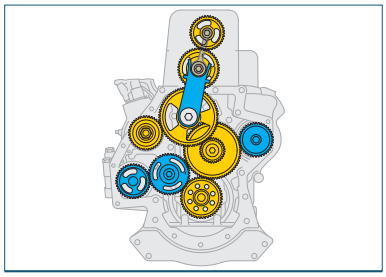
**10.9.** Transmisión de movimiento entre ejes.

### Velocidad angular

Es el número de vueltas por unidad de tiempo. Se mide en revoluciones por minuto o también en radianes por segundo.

### Accionamiento con varios piñones

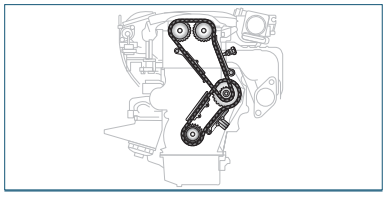
Cuando la transmisión de movimiento se realiza mediante piñones y el árbol de levas está situado en cabeza, es necesario utilizar varios piñones intermediarios pero siempre conservando la misma relación de transmisión total.



**10.10.** Transmisión mediante piñones.

### Accionamiento mediante 2 cadenas

Cuando la distancia entre los ejes es amplia y la transmisión se realiza mediante el sistema de cadena, se coloca un eje intermediario donde engranan dos cadenas como se puede ver en la figura.



**10.11.** Accionamiento por dos cadenas.

## 2 >> Sistemas de mando de la distribución

El movimiento del piñón motriz al piñón conducido siempre es transmitido con una relación de transmisión 2/1. Para ello el piñón situado en el árbol de levas debe poseer el doble de dientes que el situado en el cigüeñal, pues su velocidad angular será la mitad (figura 10.9).

La distancia entre ejes es distinta dependiendo del tipo de motor y del tipo de distribución empleado, por lo cual nos encontraremos con los siguientes tipos de accionamiento:

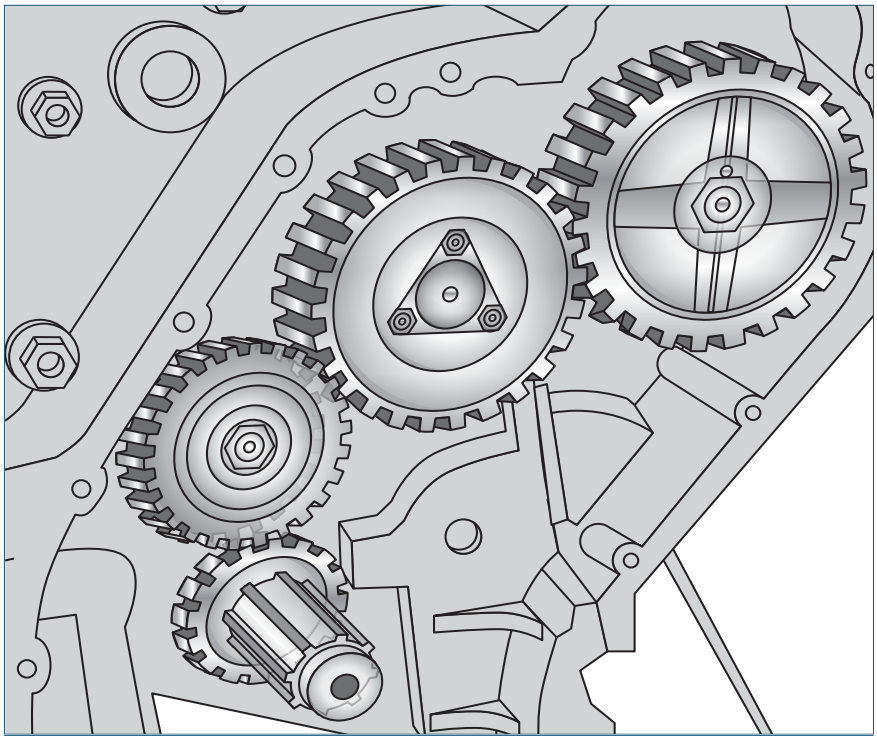
– Transmisión mediante piñones.
– Transmisión por cadena.
– Transmisión por correa dentada.

### 2.1 > Transmisión mediante piñones

Este sistema de accionamiento es utilizado principalmente cuando el árbol de levas está situado en el bloque. Si el piñón motriz arrastra directamente al piñón conducido, el giro de este último será en sentido contrario al anterior.

Otras veces se utiliza un piñón intermedio que, manteniendo la relación de transmisión, invierte el sentido de giro del piñón conducido (figura 10.12).

Los dientes de los piñones tienen forma helicoidal para minimizar los ruidos. De todos modos, es un tipo de accionamiento poco utilizado porque aun estando perfectamente engrasado el desgaste de los piñones es relativamente importante.



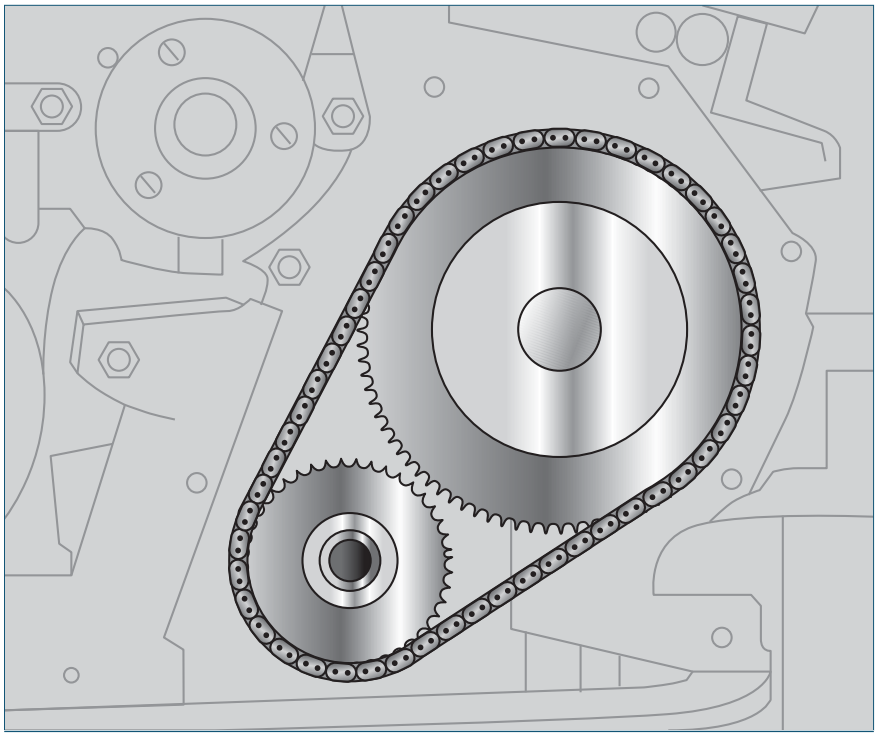
**10.12.** Transmisión por piñones.

## 2.2 > Transmisión por cadena

Este sistema es más utilizado cuando el árbol de levas se encuentra situado en el bloque, aunque también se utiliza cuando el árbol de levas va situado en la culata (figura 10.13).

La carga se reparte sobre un número de dientes mayor del piñón que en el sistema de transmisión anterior, produciéndose un desgaste menor.

Con el paso del tiempo se originan desgastes que ocasionan holguras y estas se traducen en ruidos. Para paliar este problema se dispone de uno o varios tensores que mantienen constante la tensión de funcionamiento.



**10.13.** Transmisión por cadena.

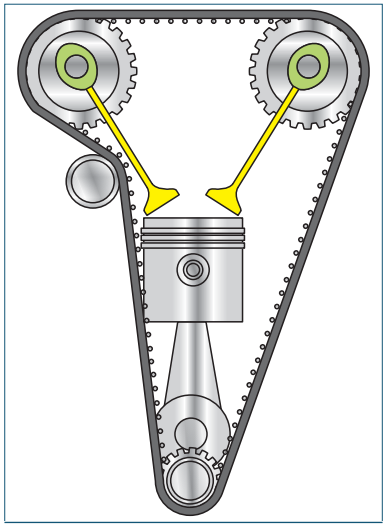
## 2.3 > Transmisión por correa dentada

Mediante este sistema de distribución se minimizan los ruidos y los desgastes son menores. Es muy utilizado sobre todo cuando el árbol de levas va situado en cabeza (figura 10.14).

La correa está constituida por neopreno estampado con refuerzo interior de fibras y recubiertas por un tejido resistente al rozamiento. Las fibras garantizan la estabilidad longitudinal, el neopreno constituye la parte elástica del dentado y el recubrimiento sirve para proteger la correa.

En este sistema es imprescindible el uso de tensores que normalmente serán mecánicos o hidráulicos.

En este tipo de transmisión no es necesario el engrase. Es el sistema más silencioso y en principio más económico, pero es necesario sustituir la correa y tensores cada cierto número de kilómetros.

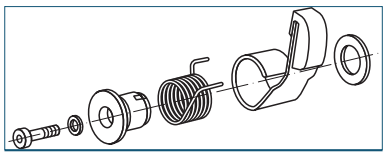


**10.14.** Transmisión por correa dentada.

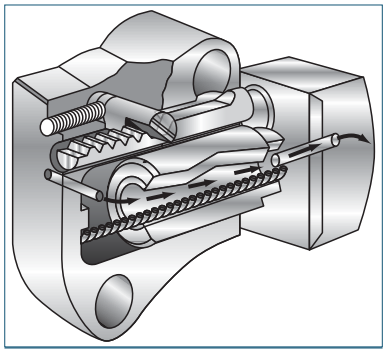
**Práctica 12**

### Tensores

Los tensores son mecanismos para suplir distancias muertas en las cadenas o correas de la distribución. Pueden ser de accionamiento mecánico o hidráulico.



**10.15.** Tensor mecánico.



**10.16.** Tensor hidráulico.

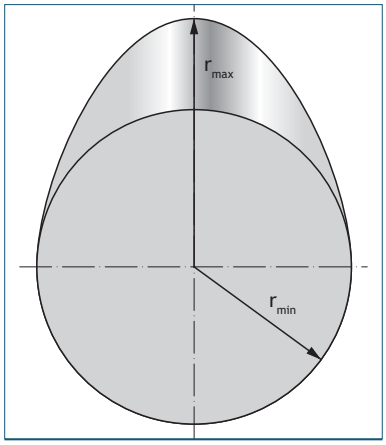
## Vocabulario

**Leva:** dispositivo que permite transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo alternativo. Consiste, por lo general, en un relieve transversal excéntrico del eje de giro.

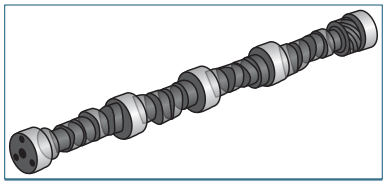
### Alzada de la leva

Es la diferencia entre dos radios:

$$\text{Alzada} = r_{max} - r_{min}$$




**10.17.** Alzada de la leva.



**10.18.** Árbol de levas.

## 3 >> Componentes de la distribución

**Además de los elementos de mando citados en los diferentes tipos de distribución, son necesarios otra serie de componentes para conseguir que la mezcla aire-combustible o simplemente el aire pueda entrar en la cámara de compresión y los gases quemados sean expulsados.**

Los elementos necesarios para conseguir este objetivo son:

– Árbol de levas.
– Válvulas.
– Taqués.
– Varillas empujadoras.
– Balancines.
– Muelles.

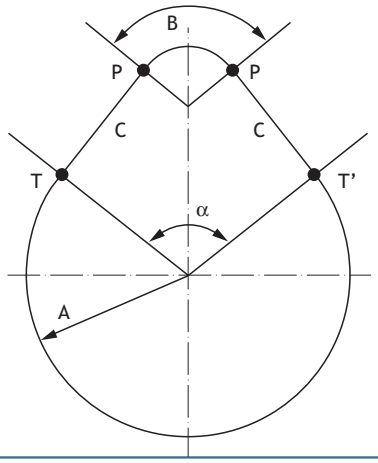
### 3.1 > Árbol de levas

**El árbol de levas es el órgano que controla el tiempo de apertura y cierre de las válvulas. Está constituido por un eje de acero al carbono forjado y cementado en el que están mecanizadas las levas para la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape.**

Además tiene otro tipo de levas y piñones para el accionamiento de diversos elementos, como la bomba de alimentación, el engrase, etc. El árbol de levas recibe movimiento desde el cigüeñal y mediante la leva transmite el movimiento circular en rectilíneo.

En una leva vista de perfil (figura 10.19) podemos observar que está compuesta por: una zona correspondiente al ángulo de cierre cuyo radio es constante, siendo este el más pequeño; dos flancos, uno de apertura y otro de cierre, que son zonas donde el radio va variando de una forma progresiva; y la cresta que corresponde a la zona de la máxima apertura.

Dependiendo del tipo de distribución, el árbol se encontrará situado en el bloque o en la culata. El perfil de las levas determina el momento de la apertura y cierre de las válvulas, los tiempos de apertura y la distancia recorrida; en definitiva, representa el diagrama de la distribución.




- **A** Círculo base: periodo de cierre de la válvula
- **B** Círculo de cresta: máxima apertura de válvula
- **C** Flancos de leva: inicios de apertura y cierre de válvulas
- **T** Punto de inicio de apertura
- **T'** Punto de inicio de cierre
- **α** Ángulo de apertura de válvula

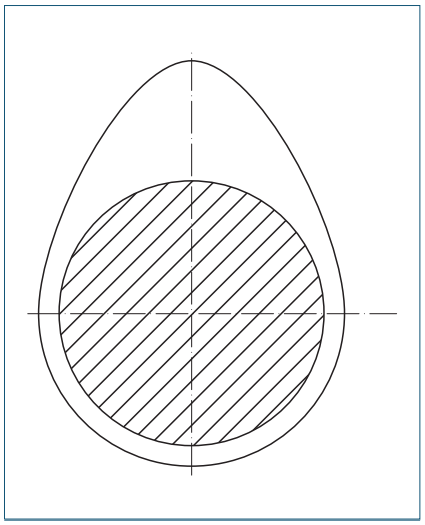
**10.19.** Leva.

Existen diferentes perfiles para las levas, en función de que:

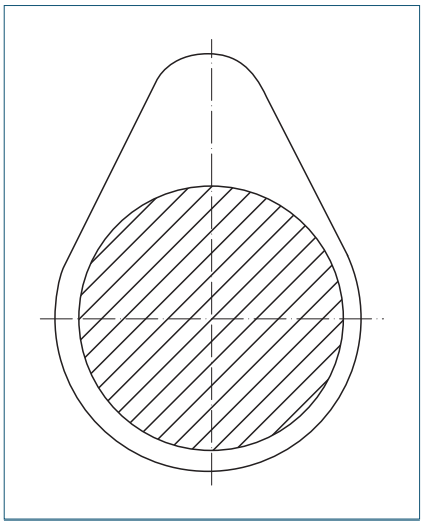
– La válvula sea de escape o de admisión.
– El motor sea diésel o gasolina.
– El número de revoluciones sea el normal de funcionamiento.

De esta forma nos encontramos levas con los siguientes perfiles:

– **Perfil oval.** Con este tipo de perfil la apertura y cierre de la válvula se produce de una forma lenta (figura 10.20).
– **Perfil tangencial.** Con este perfil se consiguen aperturas y cierres de válvulas rápidos (figura 10.21).



**10.20.** Leva de perfil oval.



**10.21.** Leva de perfil tangencial.

## 3.2 › Válvulas

**Las válvulas son componentes situados en la cámara de combustión que se encargan de abrir y cerrar los orificios de entrada y salida de gases en cada ciclo de funcionamiento.**

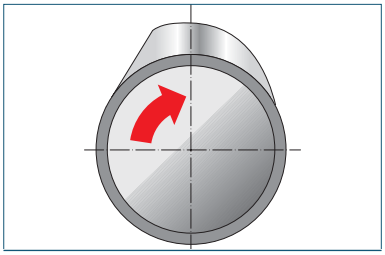
Las partes que componen la válvula son (figura 10.24):

– **Cabeza.** Está mecanizada en toda su periferia, con una inclinación o conicidad en la superficie de asiento que hace de cierre hermético sobre el orificio de la culata.
– **Vástago.** Es perfectamente cilíndrico y está unida a la cabeza; sirve de guía en el desplazamiento axial. Centra la cabeza en su asiento y evacua parte del calor a través de la guía.
– **Cola.** Es la zona donde se sitúan las entalladuras o ranuras para el asiento de los semiconos o chavetas.

El material con que se construyen las válvulas y los asientos es de primera calidad. Durante el funcionamiento del motor, la válvula de admisión puede variar su temperatura hasta 400 °C y la de escape hasta 800 °C. Estos materiales están sujetos a grandes cargas de compresión sumergidas en un ambiente de gases corrosivos. A 5 000 rpm de giro del cigüeñal, las válvulas golpean el asiento 2 500 veces por minuto.

### Leva con 2 perfiles distintos

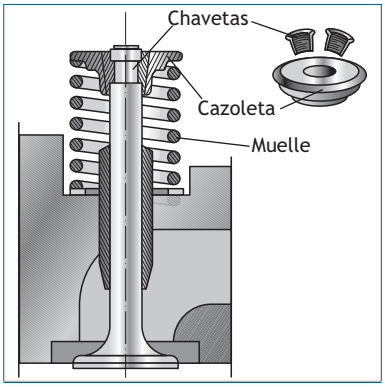
En algunos casos las levas tienen un perfil de apertura de la válvula oval para que se pueda abrir más lentamente, y un perfil de cierre tangencial para que este sea más rápido.



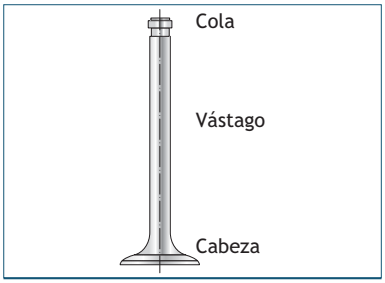
**10.22.** Perfil de apertura y cierre distintos.

### Chavetas y cazoletas

Para mantener la válvula cerrada, el muelle queda sujeto a la misma mediante la interposición de unos semiconos o chavetas alojadas en el rebaje de la cola de la válvula y retenidas por la cazoleta sobre la que apoya el correspondiente muelle.




**10.23.** Unión del muelle y la válvula.




**10.24.** Válvula.

## Vocabulario

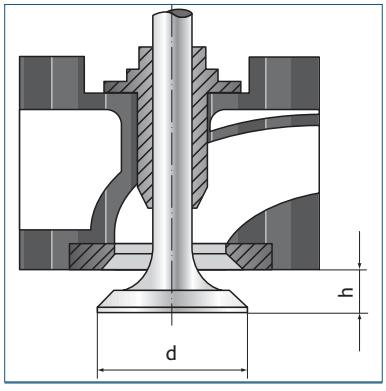
**Titanio:** metal buen conductor del calor y de la electricidad. Es muy resistente a la corrosión, y tiene excelentes propiedades mecánicas: es más duro y dúctil que el acero. Posee una baja densidad y se emplea en la fabricación de aceros especiales y para soldaduras de metal y cerámica.

**Cerámica:** material cerámico por no ser de naturaleza metálica. Tiene una ventaja respecto a los materiales metálicos: que resulta inalterable a altas temperaturas. Por ello, son ideales para zonas muy calientes del motor tales como las cámaras de combustión, la parte alta del émbolo y las válvulas de escape.

### Sección

La sección de entrada en la válvula de admisión determinará la cantidad de fluido que puede entrar en este tiempo, y está en función de la longitud que se desplaza la válvula, y de la longitud correspondiente a la circunferencia de su cabeza.

Si existen varias válvulas por cilindro, la sección total será igual al número de válvulas por la sección que le corresponde a una.



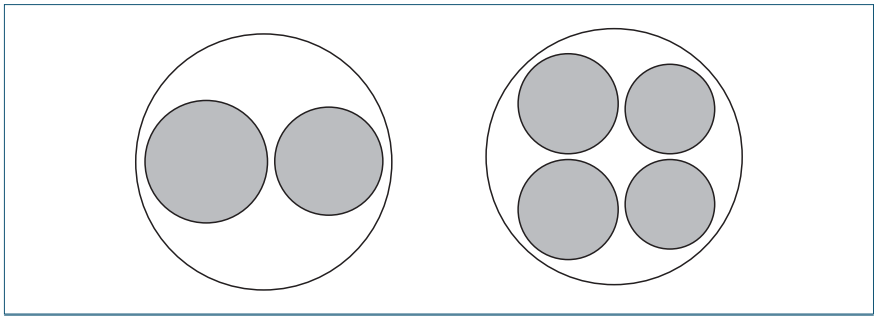

**10.26.** Dimensiones de la válvula.

Las válvulas deben estar diseñadas para soportar las condiciones duras de trabajo. A la vez, deben ser ligeras para poder desplazarse sin producir elevadas fuerzas de inercia.

La forma de las válvulas de admisión y las de escape es muy parecida. Sin embargo, sí que existen diferencias en el material y en las dimensiones. El diámetro de la cabeza en la válvula de admisión es superior al diámetro de la válvula de escape, independientemente de si se trata de un motor de 2 o más válvulas por cilindro.

También existen casi siempre diferencias a nivel de los vástagos de las válvulas. Las válvulas más pequeñas corresponden al motor que contiene más válvulas por cilindro. La versión del motor de 2 válvulas tiene el número de válvulas del motor; existe una tendencia clara hacia los vástagos cada vez más finos de las válvulas. No solo hacen que estas sean más ligeras, sino que también mejoran la circulación de los gases. De igual forma, se pueden constatar diferencias en la longitud de las válvulas. Las de los motores multiválvulas suelen ser, a menudo, más cortas que en el caso de los motores de 2 válvulas. Cuando el accionamiento de las válvulas es el mismo sistema, las culatas de los motores multiválvulas pueden ser, incluso, algo más bajas que las de los motores de 2 válvulas.

Las dimensiones geométricas de las válvulas de los motores de 2 válvulas y de los multiválvulas son diferentes. Se considera válido lo siguiente: a mayor número de válvulas, menores son las dimensiones. Nunca se consigue, por ejemplo, mantener el tamaño de las válvulas al duplicar el número de las mismas. El espacio geométrico del que se dispone en la cámara de combustión obliga sencillamente a la reducción de su tamaño.



**10.25.** Posición de las válvulas en la cámara de compresión.

El material de las válvulas es también importante en lo que al peso se refiere. El acero es el material más empleado por ser el más económico, pero también existen otros materiales como el titanio y la cerámica que reducen el peso, como se puede observar en la tabla, aunque resultan menos económicos:

| Peso aproximado de las válvulas de admisión | Motor de 2 válvulas | Motor de 4 válvulas |
|---|---|---|
| Acero | 70,0 g | 47,7 g |
| Titanio | 39,3 g | 26,8 g |
| Cerámica | 28,0 g | 19,1 g |

### Dimensiones de las válvulas

Las principales dimensiones de las válvulas son:

– **Diámetro de la cabeza.** Representado en la figura 10.26 por la letra d. Cuando este es mayor, mejor es el llenado a mayor número de revoluciones, ya que si el régimen de revoluciones es más elevado se dispone de menos tiempo para introducir el caudal correspondiente a cada ciclo.
– **Alzada.** Es la longitud que se desplaza la válvula en sentido longitudinal, representada en la figura 10.26 por la letra h. Si esta es mayor, mejor circularán los gases a alto régimen.
– **Sección.** La sección de paso de gases está en función del diámetro de las válvulas y de la longitud que le corresponde a la alzada. Para su cálculo, es necesario multiplicar la longitud de la circunferencia por la alzada.
– **Ángulo del asiento.** Es el ángulo formado por las generatrices del cono del asiento de la cabeza de la válvula. Cuando el ángulo es mayor, se favorece el llenado de los cilindros; si el ángulo es menor, la resistencia mecánica del asiento es superior.

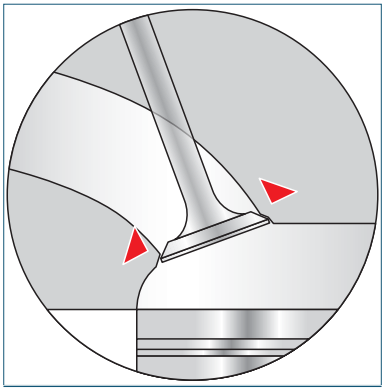
### Refrigeración de las válvulas

La válvula de admisión es refrigerada por los gases frescos que entran al motor. La válvula de escape disipa su calor cuando entra en contacto con el asiento de válvula. Esta es una de las razones que obligan a mantener la refrigeración de la culata en condiciones óptimas.

La temperatura de los asientos de válvula debe ser lo más baja posible.

### Asientos de válvulas

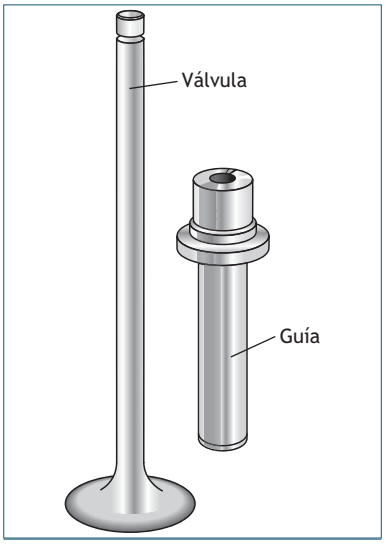
Son piezas postizas montadas sobre la culata y colocadas a presión. Hacen de apoyo de la cabeza de la válvula para conseguir un cierre hermético, ya que el ángulo del asiento debe coincidir con el ángulo de la cabeza de la válvula (figura 10.27). Es necesario montar los asientos porque el material de la culata es blando y, en caso contrario, no soportaría el continuo golpeteo a que está sometido el asiento durante su funcionamiento.



**10.27.** Asientos de válvulas.

### Guías de válvulas

Son piezas postizas colocadas a presión en la culata (figura 10.28). Sirven de guía al vástago de la válvula en su desplazamiento, evitan el desgaste de la culata y evacuan el calor de la válvula a través del circuito de refrigeración.



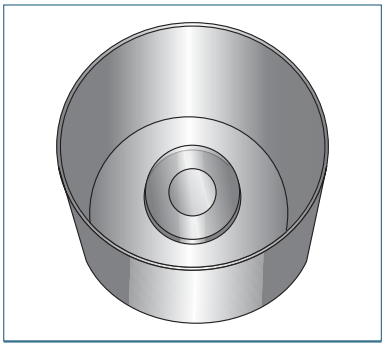

**10.28.** Guías de válvulas.

## 3.3 > Taqués

Los taqués o empujadores transmiten el movimiento de la siguiente forma:

– Cuando el árbol de levas va situado en el bloque de la leva a la varilla empujadora.
– Si el árbol de levas va situado en la culata desde el balancín o la leva a la válvula.

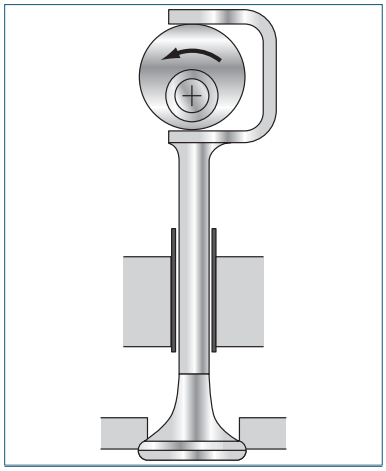
El taqué tiene forma de vaso (figura 10.29). En su desplazamiento se deslizará sobre una superficie perfectamente mecanizada que le rodea en ambos casos y normalmente estará sometido a un pequeño movimiento de rotación para que el desgaste sea regular en toda su superficie. Este movimiento se consigue situando el taqué ligeramente descentrado sobre la leva.



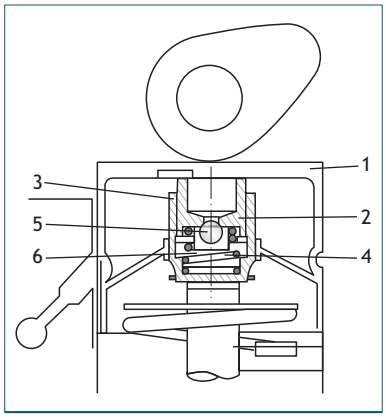
**10.29.** Taqués.

### Distribución desmodrómica

En este tipo de distribución el movimiento de apertura y del cierre de las válvulas está encomendado a las levas, sin que intervenga el muelle de retorno.



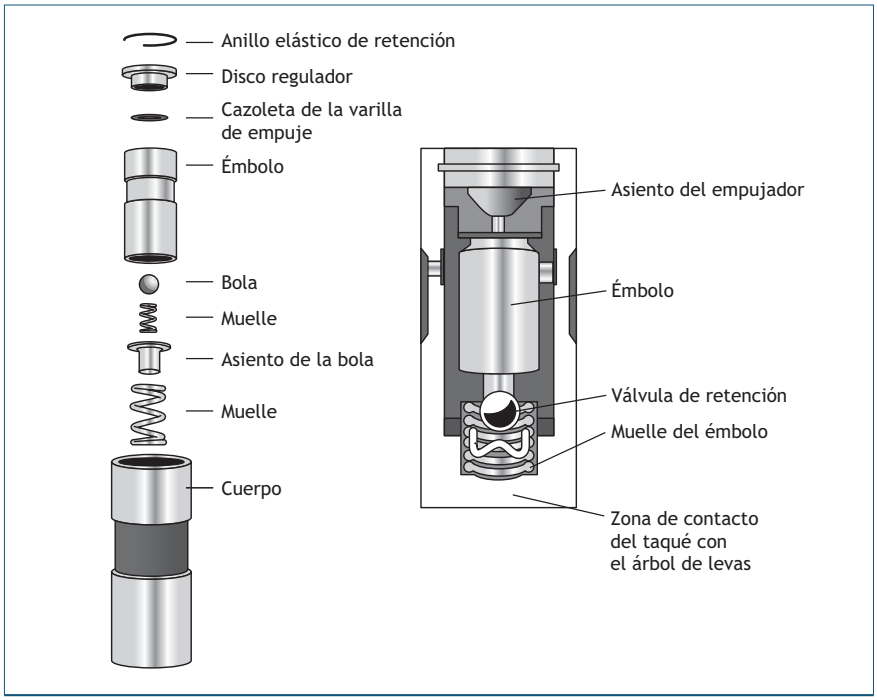
**10.31.** Distribución desmodrómica.




**10.32.** Taqués hidráulicos para distribución OHC.

## Taqués hidráulicos

Para evitar tener que realizar el típico reglaje de taqués o juego de válvulas así como para minimizar el ruido clásico provocado por los mismos, se utilizan los taqués hidráulicos que se adaptan en todo momento a las dilataciones de los distintos elementos. Están compuestos de una serie de elementos representados en la figura 10.30.




**10.30.** Taqués hidráulicos.

Cuando existe una holgura mayor a la permitida, el muelle situado entre el émbolo y el taqué se expande. El aceite sometido a presión rellena el volumen existente por debajo del émbolo. Entre el émbolo y el cuerpo se produce una pequeña fuga que permite eliminar el aceite sobrante.

Cuando los componentes de la distribución se dilatan por efecto de un aumento de temperatura, se produce una fuga de aceite en el taqué variando la holgura de forma automática.

Otra disposición en el funcionamiento del taqué hidráulico es cuando el árbol de levas está en cabeza y ataca directamente a la válvula sin interposición de varillas de empuje: en este caso su posición es invertida (figura 10.32).

El empujador hidráulico se compone esencialmente de dos piezas móviles:

– El empujador (1) con el pistón (2).
– El cilindro (3).

La presión ejercida por el muelle (4) separa estas dos piezas de manera que anula los juegos. La válvula antirretorno (5) asegura el llenado y el hermetismo de la cámara de alta presión (6).

Las fases de funcionamiento representadas en la figura 10.33 son las siguientes:

### Principio de apertura de la válvula

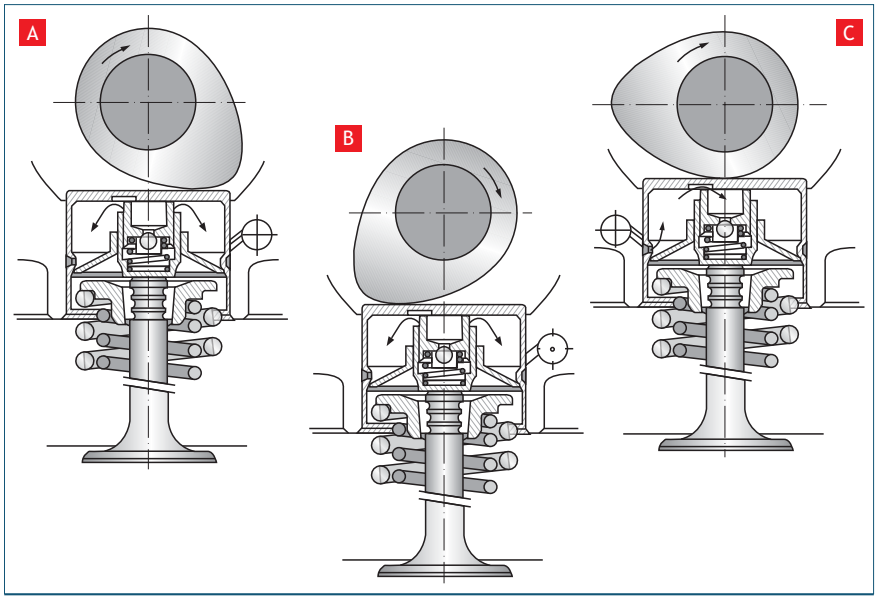
Cuando la leva ataca al empujador, la válvula antiretorno se cierra y aumenta la presión en la cámara de alta presión. Este aumento de la presión, no obstante, no provoca compensación en el volumen de aceite de la cámara. El empujador actúa como un elemento rígido (figura 10.33, A).

### Apertura de la válvula

La leva ejerce una fuerte presión sobre el empujador, lo que comporta un aumento de presión en la cámara. Una pequeña cantidad de aceite se escapa por el juego que existe entre el cilindro y el pistón. Esto provoca una compresión del empujador durante la apertura, juego necesario para la recuperación del desgaste entre la leva y el pistón (figura 10.33, B).

### Recuperación del juego

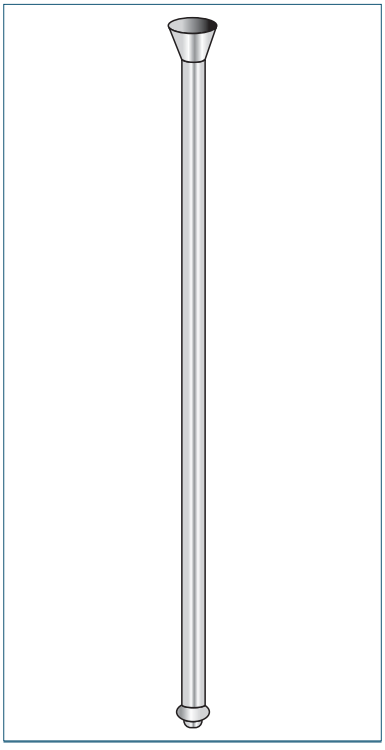
La leva ya no ejerce presión sobre el empujador, con lo que la presión de la cámara disminuye. El muelle separa el cilindro del pistón a fin de llenar el juego entre la leva y el vástago de la válvula. En este momento, la válvula antirretorno se abre, dejando entrar con ello aceite a presión en la cámara de alta presión. Esta cantidad depende directamente del juego a recuperar (figura 10.33, C).




**10.33.** Fases de funcionamiento de un taqué hidráulico.

## 3.4 > Varillas empujadoras

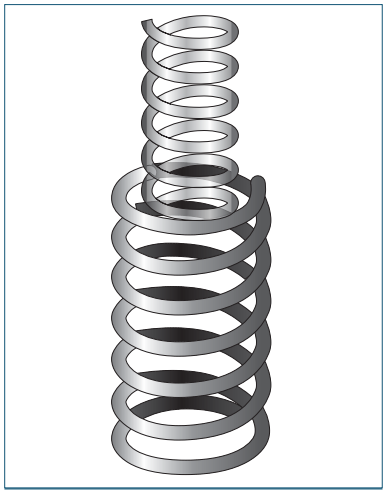
Se utilizan en los sistemas de distribución OHV. Su misión es transmitir el movimiento desde el empujador o taqué hasta el balancín (figura 10.34). Son piezas alargadas de pequeño diámetro y una longitud relativamente grande, sometidas constantemente a fuerzas de flexión; deben ser ligeras para disminuir las fuerzas de inercia. Se fabrican de acero al carbono, consiguiendo de esta manera un peso reducido; en cuanto a la forma, son convexas en la parte del taqué y cóncavas en el lado del balancín.



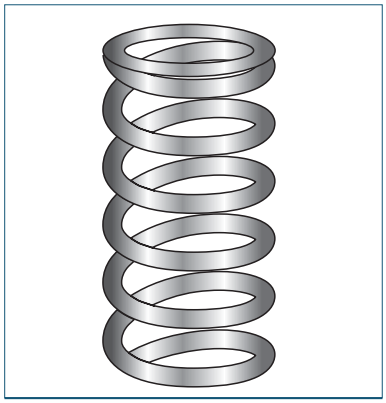
**10.34.** Varilla empujadora.

### Número de muelles por válvula

Para evitar los efectos de resonancia a determinado número de revoluciones, a veces se colocan dos muelles por válvula, cada uno con características diferentes.



**10.36.** Muelles de válvulas.



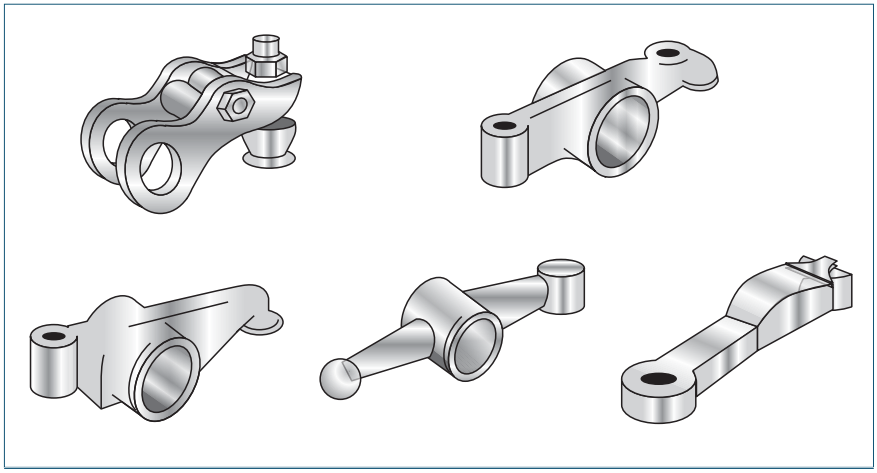
**10.37.** Muelle.

## 3.5 > Balancines

Son las palancas que transmiten directa o indirectamente el movimiento de la leva a la válvula (figura 10.35). Existen dos tipos de balancines:

– **Balancines basculantes.** Empleados en motores que usan varillas empujadoras. Por un extremo recibe el empuje y por el otro lo transmite, basculando en la parte central.
– **Balancines oscilantes o semibalancines.** Este tipo de balancines se emplea en motores con árbol de levas en cabeza. A diferencia del anterior, el movimiento lo recibe directamente el balancín en su zona central, basculando en un extremo y transmitiendo el movimiento en el otro.

Los balancines poseen un mecanismo de regulación constituido por un tornillo y una tuerca, el cual sirve para que exista una pequeña holgura entre la válvula y el balancín. Esta cota es necesaria para que, en condiciones de funcionamiento normales, al dilatar los materiales por el efecto térmico, no queden excesivamente juntas estas dos piezas y durante el tiempo que la válvula debería estar cerrada se mantenga pisada.



**10.35.** Balancines.

## 3.6 > Muelles de válvula

Son los elementos encargados de mantener la válvula siempre cerrada, y para ello es necesario que tengan la suficiente fuerza para conseguir realizar una presión sobre la válvula lo suficientemente grande para que el cierre sea hermético. Este tipo de muelles se suelen fabricar con carga elástica de tensión gradual, es decir, que su constante de proporcionalidad varíe a lo largo de su longitud (figura 10.36).

El objetivo de este tipo de construcción es el de evitar el rebote del propio muelle, y por lo tanto el de la válvula, debido al continuo movimiento alternativo. Otra forma de evitar este efecto es colocando dos muelles con diferentes pasos en las espiras de los mismos (figura 10.37).

La elasticidad de los muelles depende principalmente del tipo de material, el grosor del alambre empleado para su fabricación, del diámetro exterior del propio muelle y del número de espiras.

## Actividades finales

1·· ¿Cuál es la misión del sistema de distribución?

2·· ¿En qué consiste la transformación de movimientos mediante el sistema de distribución? ¿Cuál es la relación de transmisión existente entre los diferentes piñones?

3·· Un cigüeñal gira a 3 000 rpm. Indica a cuántas revoluciones gira cada árbol de levas, si la distribución es del tipo DOHC.

4·· Dibuja esquemáticamente un sistema de distribución OHV, enumera los elementos y explica cómo se transmite el movimiento.

5·· Especifica los tipos de levas que conoces en función del perfil.

6·· Dibuja una válvula e indica de qué partes está compuesta.

7·· ¿Por qué son necesarios los asientos de válvulas?

8·· ¿Qué misión tienen los muelles de válvulas?

9·· ¿Cuáles son las ventajas de los taqués hidráulicos?

10·· Localiza en el taller dos motores de cuatro cilindros en línea que fueran fabricados en años diferentes. Copia la tabla en tu cuaderno y rellena los espacios en blanco utilizando la información técnica correspondiente a cada uno.

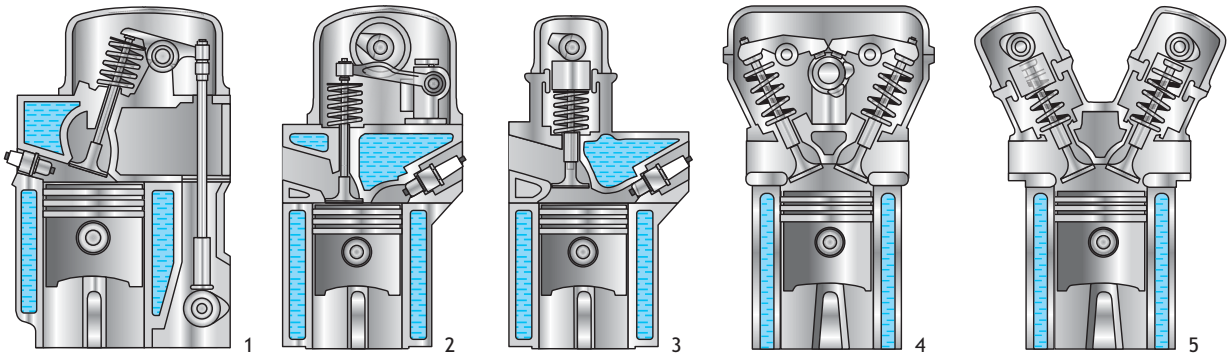
| | MOTOR A | MOTOR B |
|---|---|---|
| Marca y modelo | | |
| Tipo de combustible y año de fabricación | | |
| Potencia y par motor | | |
| Tipo de sistema de distribución | | |
| Tipo de sistema de mando de la distribución | | |
| Número de árboles de levas y número de levas por cilindro | | |
| Periodicidad en el mantenimiento de los diferentes elementos | | |
| Situación de las marcas para localizar los puntos muertos | | |

## Caso final

### Análisis de los diferentes sistemas de distribución

•• Revisando diferentes motores en el aula taller surgen las siguientes dudas:

a) En la figura 10.38 están representados diferentes tipos de accionamiento de válvulas. Indica a qué sistema corresponde cada uno, y enumera los elementos intermedios necesarios en cada caso para que se pueda transmitir el movimiento desde la leva a la válvula para abrir esta.




**10.38.** Diferentes tipos de accionamiento de las válvulas.

b) Cuando se desmonta la tapa de la distribución se observa que en los piñones vienen mecanizadas unas marcas. ¿Cuál es su misión? ¿Cada cuántas vueltas del cigüeñal quedan enfrentadas las dos marcas?
c) ¿Cuáles son los diferentes sistemas de mando de la distribución? Indica un ejemplo de motor donde te puedes encontrar cada uno de estos tipos.

### Solución ••

a) La relación de sistemas de distribución es la siguiente:

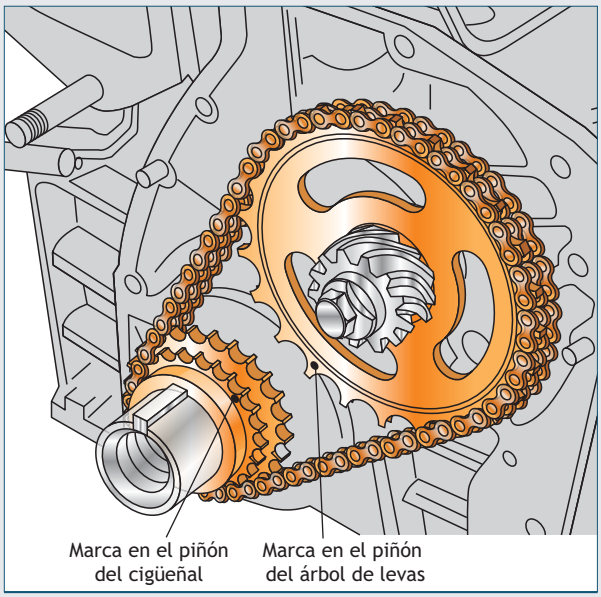
1. Árbol de levas situado en el bloque (OHV), como elementos intermedios lleva: un empujador o taqué, la varilla empujadora y el balancín.
2. Árbol de levas en cabeza, situado en la culata (OHC), tiene como elemento intermedio un balancín de palanca.
3. Árbol de levas en cabeza (OHC), en este caso el elemento intermedio es un empujador invertido.
4. Árbol de levas en cabeza (OHC), con balancines como elementos intermedios pero a diferencia del caso 2, las válvulas están colocadas en forma de V.
5. Dos árboles de levas situados en la parte superior (DOHC), igual que en el caso 3 el elemento intermedio es un empujador invertido, con las válvulas colocadas en forma de V.

b) Con los elementos de la distribución, se sincroniza la apertura y cierre de las válvulas con el movimiento del pistón. Para que esto se pueda producir es necesario que los piñones que se desmontan, en el posterior montaje se encuentren en la misma posición, y esto se consigue mediante las diferentes marcas (figura 10.39).

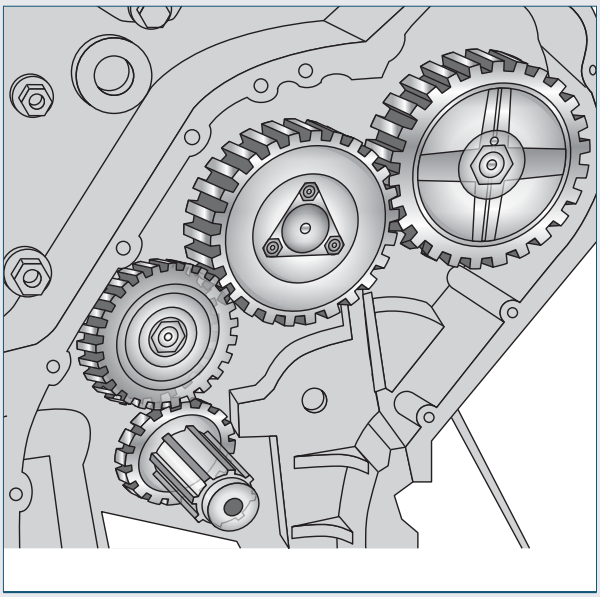
Estas marcas quedarán enfrentadas cada dos vueltas del cigüeñal o una del árbol de levas, ya que el piñón del árbol de levas tiene doble número de dientes que el piñón situado en el cigüeñal.

c) Los diferentes sistemas de mando de distribución son:

- Mando de distribución por piñones (figura 10.40). El motor de un tractor es un ejemplo de donde iría montada.

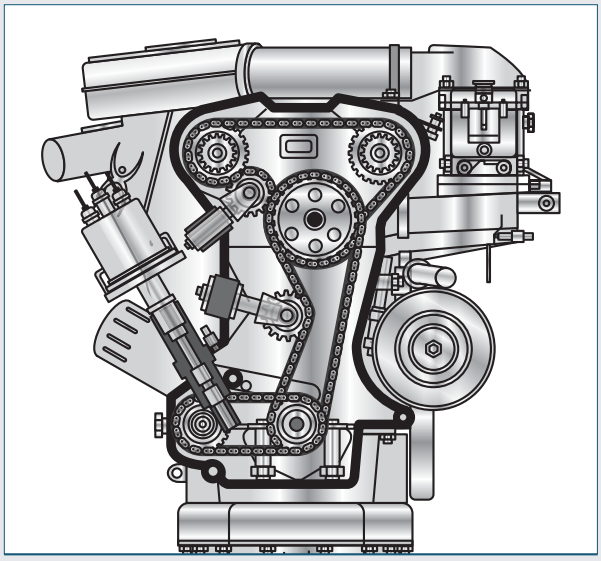



**10.39.** Marcas en los piñones de la distribución.

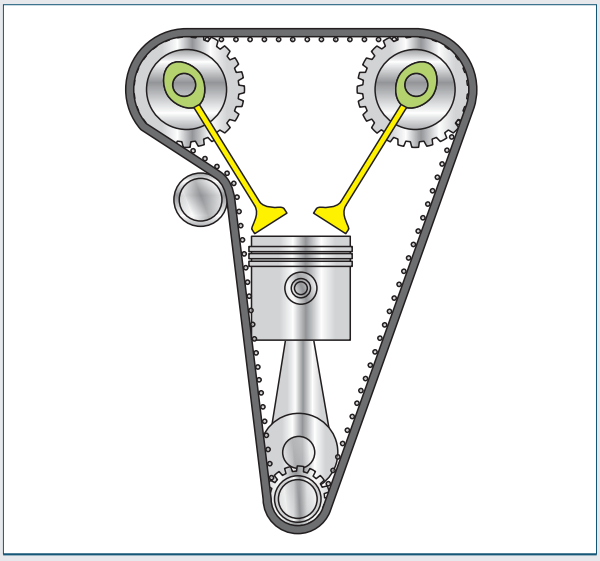


**10.40.** Mando de distribución por piñones.

- Mando de distribución con cadena. Típica de motores de turismo cuando el árbol de levas va situado en el bloque, aunque también la llevan motores con árbol de levas en cabeza como en el caso de la figura 10.41.
- Mando de distribución por correa dentada (figura 10.42). Muy utilizada en turismos la acoplan gran cantidad de modelos que llevan el árbol de levas en cabeza.

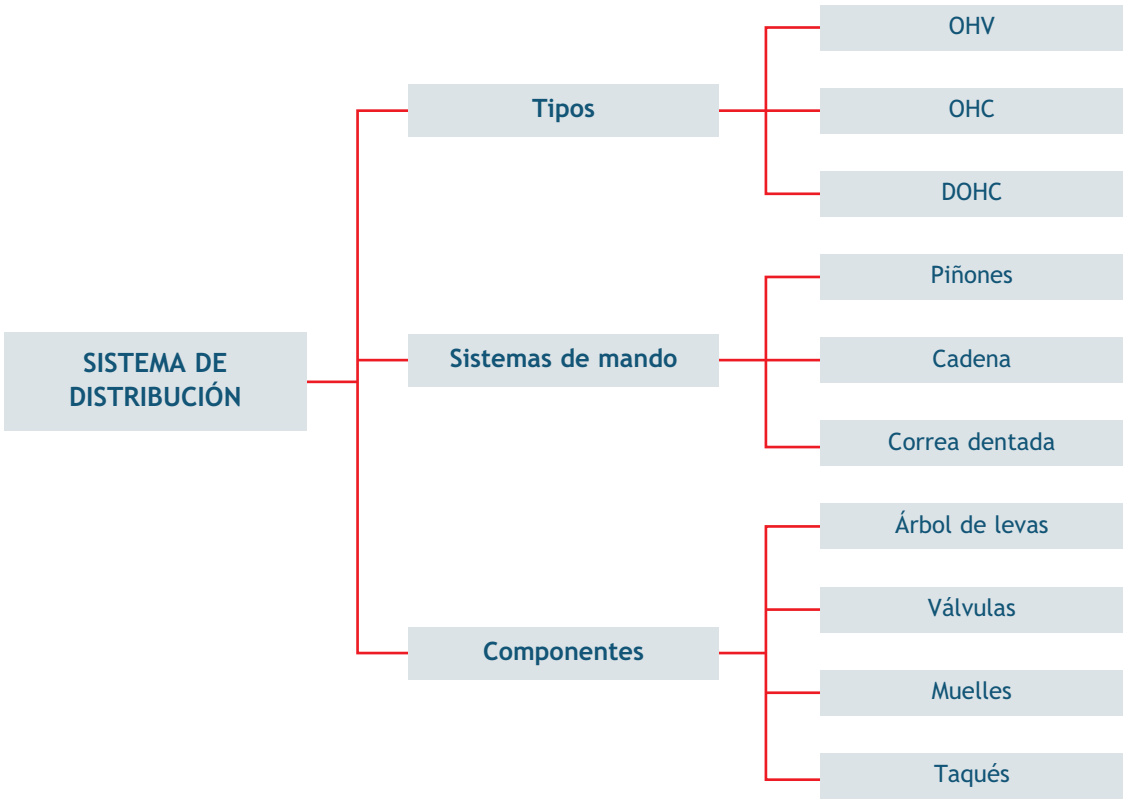


**10.41.** Distribución por cadena y árbol de levas en cabeza.



**10.42.** Distribución por correa dentada.

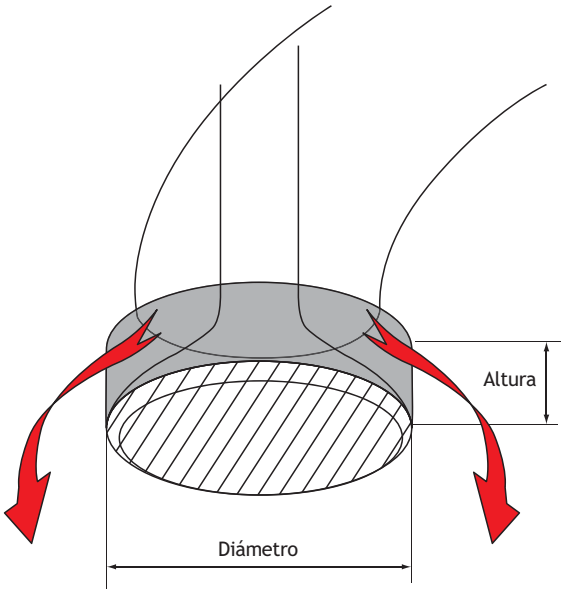
## Ideas clave


SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
Tipos
OHV
OHC
DOHC
Sistemas de mando
Piñones
Cadena
Correa dentada
Componentes
Árbol de levas
Válvulas
Muelles
Taqués

# NÚMERO IDEAL DE VÁLVULAS POR CILINDRO

Durante los años 80 se extendieron los motores de cuatro válvulas por cilindro, hasta el punto de convertirse con el tiempo en algo normal. Algunas marcas van más lejos: cinco, seis y hasta siete válvulas por cilindro en lugar de cuatro.

La pregunta que cabe hacerse es: ¿merece la pena esa mayor complejidad? o ¿añade verdaderas ventajas desde el punto de vista de la utilización? Intentemos dar contestación a esa pregunta con las siguientes consideraciones técnicas.




**10.43.** Área de entrada de gases de admisión.

El área sombreada en la figura 10.43, descubierta por la válvula de admisión, determina el volumen de gas capaz de entrar en el motor; ese área depende del diámetro de la cabeza de la válvula y de su alzada. Es decir, para aumentar la capacidad de llenado, hay que aumentar el área correspondiente. Las dos formas de hacerlo son: o incrementar la alzada o el diámetro de la válvula. En cualquiera de los dos casos, en contrapartida, obtenemos desventajas; en el primer caso crece la aceleración máxima de la válvula, lo que implica muelles más potentes capaces de mantenerla pegada a la leva sin que produzca rebotes. En este caso los rozamientos del taqué producen una pérdida de potencia no deseada, contraria a la tendencia de todos los fabricantes a disminuir los rozamientos en todas las piezas susceptibles de ello, además de la necesidad de recurrir a levas que no generen aceleraciones importantes.

Si aumentamos el diámetro de la cabeza de la válvula (y por lo tanto su masa), el aumento de las fuerzas de inercia igualmente obliga a poner muelles de válvula más enérgicos, con el mismo perjuicio que el caso anterior.

El camino más lógico, por lo tanto, es aumentar el número de ellas ya que dos válvulas pequeñas de admisión (más ligeras independientemente que una grande) pueden dejar pasar más volumen de gas que una sola, disminuyendo incluso las perjudiciales fuerzas de inercia por ser más ligeras. La pregunta es: ¿cuántas válvulas es necesario llegar a poner para conseguir optimizar la potencia, sin que su número resulte exagerado?

El área útil de paso varía según el número de válvulas, siempre a igualdad de diámetro del cilindro. La solución de 5 por cilindro (3 de admisión) es el mejor compromiso frente a las 4 e incluso a una teórica culata de 6 ó 7 por cilindro.

Ciertamente las 5 válvulas se «llevan la palma» en el sentido de proporcionar un mayor llenado de los cilindros. Otro tema puede ser hasta qué punto interesa esta brillantez en régimen alto si, desde la perspectiva de la elasticidad, resulta ligeramente pobre en este tipo de motor. Esto, junto con la relación entre coste y beneficio, es la razón por la que cada fabricante opta por un número de válvulas determinado en cada momento.

unidad 11

# Verificación y control en sistemas de distribución

## SUMARIO

- Sistemas de distribución y sus averías
- Mantenimiento en los sistemas de distribución
- Verificaciones en los sistemas de distribución
- Reparaciones en los sistemas de distribución

## OBJETIVOS

- Aprender a realizar los mantenimientos habituales en distribuciones.
- Conocer en profundidad las averías, verificaciones y reparaciones más habituales en el sistema de distribución.
- Tomar conciencia del elevado número de averías que se producen en la distribución.
- Alcanzar los niveles teóricos y prácticos suficientes para realizar desmontajes, verificaciones, reparaciones y montajes de distribuciones.

## 1 >> Sistemas de distribución y sus averías

**El sistema de distribución es el encargado de abrir y cerrar, a través de válvulas, el paso de gases frescos al motor y de gases quemados hacia el escape. Las válvulas suelen ir accionadas por un árbol de levas. La apertura y cierre de las válvulas tiene que ir perfectamente sincronizado con el movimiento del pistón y con el del cigüeñal.**

Para ello tenemos un mecanismo de accionamiento y sincronización de la distribución que puede ser de tres tipos:

– Correa de distribución.
– Cadena de rodillos.
– Engranajes.

Todo esto hace que la distribución sea un mecanismo complejo con un elevado número de piezas. Necesita mucha precisión en los ajustes y reglajes, así como en su diagnóstico, verificación y reparación. La distribución es un sistema susceptible de tener averías al hacer movimientos repetitivos, tener rozamientos, sufrir fatiga, etc.

Cualquier avería puede provocar pérdida de rendimiento, ruidos e incluso que el motor deje de funcionar. En función de los síntomas nos podemos encontrar con una serie de averías que vamos a desarrollar en los siguientes puntos.

### 1.1 > Falta de estanqueidad en las válvulas

La falta de estanqueidad siempre produce faltas de rendimiento. A veces puede provocar ralentí inestable y, en los diésel, mal arranque en frío. Las causas de la falta de estanqueidad pueden ser:

– Carbonilla en las válvulas de escape por consumo elevado de aceite.
– Carbonilla en las válvulas de admisión debido a gasolina carbonizada. Esto es muy común en lo motores de gasolina de inyección simultánea, en los que se inyecta en todos los inyectores a la vez y la gasolina queda almacenada junto a las válvulas de admisión hasta que abren, carbonizándose con el calor de la válvula.
– Válvula pisada por un mal reglaje.
– Válvula quemada por un mal reglaje que la deja parcialmente abierta y al no tocar el asiento no puede disipar su calor (figura 11.1).
– Asientos de válvulas quemados por exceso de temperatura. En ocasiones, motores antiguos que no están preparados para gasolina sin plomo, al echársela los asientos se deterioran con el golpeteo continuo de la válvula al no estar amortiguado por el plomo.
– Fatiga en los asientos de válvula y de la culata por exceso de funcionamiento.
– Válvula doblada.

### 1.2 > Desfase en el mecanismo de sincronización de la distribución

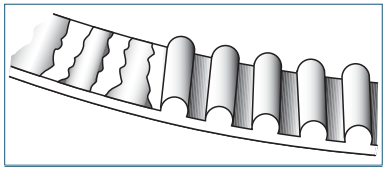
Un desfase en la distribución siempre produce pérdidas de rendimiento, mal arranque, etc., sobre todo en los motores diésel. Incluso pueden lle-

#### Uso de gasolina sin plomo

En motores antiguos que funcionaban con gasolina con plomo, este lubricaba y amortiguaba el golpeteo de la válvula con su asiento. Al retirar el plomo de las gasolinas por su elevada contaminación, si queremos que estos motores funcionen con gasolina sin plomo, debemos sustituir los asientos de la válvula de la culata por otros de material adecuado y modificar el encendido, retrasándolo para evitar la detonación debida a la reducción del octanaje.

**11.1.** Detalle de válvula quemada.

Práctica 5



**11.2.** Correa con los dientes comidos.

gar a tocarse las válvulas y los pistones doblando las válvulas, las varillas, agujerear o marcar pistones o romper el árbol de levas y sus sombreretes.

Son múltiples las causas que pueden dar lugar a estos problemas, pero las principales son:

– Mal calado de la distribución.
– Desfase accidental al estar la correa muy destensada. La correa con el paso de los kilómetros se va destensando, pudiendo dar lugar al salto de algún diente.
– Rotura de la correa de distribución o de alguno de sus rodillos o tensores. Es típico que no se rompa sino que se coma los dientes que están en contacto con el piñón del cigüeñal (figura 11.2); este último sigue girando en un principio, pero la distribución se detiene rápidamente al no haber accionamiento. Hay veces que una correa de accesorios en mal estado se deshilacha y se introduce en la distribución produciendo la rotura o salida de la correa de la distribución.
– Rotura de la cadena o de alguno de sus patines.
– Rotura del dentado de los engranajes. Hay veces que se fabrica el piñón intermediario de un material más débil para que sirva de fusible mecánico.

## 1.3 > Ruidos de distribución

Los ruidos son producidos por alguno o varios de los elementos que componen la distribución debido a su mal estado o reglaje. El origen puede ser:

– Excesivo juego en el accionamiento de la válvula debido a un mal reglaje o a unos taqués sucios, con aire o con excesivo desgaste. Este ruido suele ser más acentuado en frío que en caliente debido a que en caliente se van reduciendo las holguras por la dilatación. Habrá algo de falta de rendimiento en el motor al abrir después y cerrar antes la válvula.
– El desgaste en rodillos o tensor de la distribución produce un ruido similar a un zumbido o silbido. Con el tiempo, producirá rotura de la distribución.
– El exceso de tensión en la correa de distribución también produce un zumbido o silbido al acelerar, aunque los rodillos y el tensor estén bien. Provoca estiramientos en la correa, desgastes en rodillos, tensor, bomba de agua, apoyos del árbol de levas y cigüeñal.
– Demasiada holgura en los engranajes o cadena muy estirada. Esto produce ruidos, pero si el desgaste no es excesivo no producirá averías.

## 1.4 > Fatiga y desgaste de los elementos de la distribución

Todo desgaste producirá pérdida de rendimiento en el motor e incluso podrá causar consumos de aceite elevados, averías por roturas, etc. El origen es un exceso de horas de funcionamiento o un defecto en el diseño, en el material o en el proceso de fabricación.

También se puede acelerar la fatiga y el desgaste por el uso de un lubricante inadecuado, de mala calidad o si se han prolongado mucho los intervalos de mantenimiento.

## 2 >> Mantenimiento en los sistemas de distribución

Estos sistemas requieren de diferentes operaciones periódicas para mantener la distribución en un correcto estado de funcionamiento, aunque cada vez son menos usuales los mantenimientos. Las operaciones de mantenimiento más frecuentes son la sustitución de la correa de distribución con sus rodillos y tensores, tensado de la cadena de distribución y reglaje de válvulas.

### 2.1 > Sustitución de la correa de distribución

Esta operación consiste en cambiar el mecanismo de sincronización, en este caso la correa de la distribución, su tensor y sus rodillos.

#### Kilometraje de sustitución

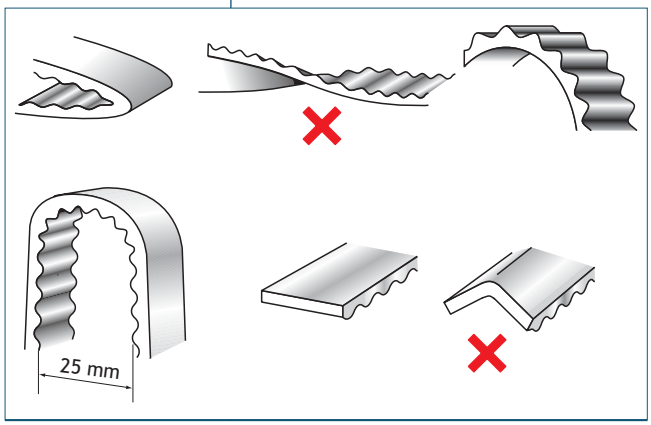
La sustitución de una correa se realiza cuando se ha llegado al kilometraje o al periodo de tiempo indicado por el fabricante. Es muy importante respetar estos intervalos porque si falla una correa de distribución la avería es mucho más costosa que un mantenimiento.

Los intervalos de mantenimiento van desde los 40 000 km o tres años en los motores más antiguos, a los 160 000 km o nueve años en los motores más recientes. Los intervalos de sustitución recomendados deben acortarse un tercio aproximadamente si el motor es usado mucho tiempo en ciudad, trayectos cortos con el motor frío, climas extremos, ambientes polvorientos, velocidades de motor extremas, etc.

El tensor y los rodillos se deben sustituir en cada cambio de correa, si no es así, puede fallar la correa. Hay que tener en cuenta que un rodillo que lleva 100 000 km y que aparentemente está en buen estado, si no es sustituido, funcionará el doble de lo recomendado. Entre los periodos de sustitución se debe inspeccionar la tensión de la correa y asegurarnos de que no está contaminada. Por otro lado, una correa destensada indica alargamiento por exceso de kilometraje. Es también aconsejable hacer una inspección visual de los dientes, del reverso y costados de la correa, a la vez que buscamos ruidos con el motor arrancado y acelerando. Estos ruidos indican desgaste en tensores o rodillos.

#### Precauciones con las correas

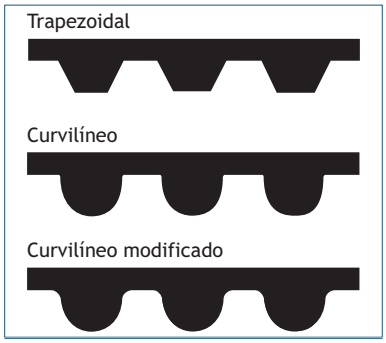
Es conveniente asegurarse que la correa de distribución esté bien protegida en el motor durante el funcionamiento por una carcasa de plástico, lo cual evita la contaminación con aceite, gasolina, agua o polvo. Las correas de distribución son más robustas que las de accesorios pero a su vez más vulnerables, ya que el cordón de fibra de vidrio es menos flexible que el cordón de poliéster de las correas de accesorios. Por esta razón nunca se deben colgar en enganches o expositores, doblar con radios inferiores a 25 mm ni tampoco volverlas del revés (figura 11.3).




**11.3.** Precauciones con las correas.

#### Constitución de una correa de distribución

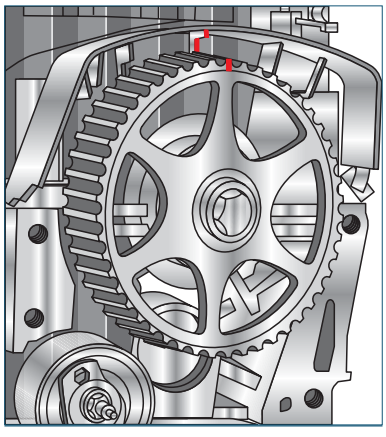
Las correas de distribución se alargan con el uso porque son sometidas a un gran esfuerzo de tracción al ser impulsadas por el cigüeñal y frenadas por el o los árboles de levas y la bomba diésel. Unos cabos de fibra de vidrio, roscados helicoidalmente, soportan muy bien la tracción con un estiramiento limitado, son retorcidos en distinto sentido de forma alterna para que no se cree una componente lateral que haga salirse la correa de la rueda dentada. El tejido protector de los dientes es de poliamida.




**11.4.** Diferentes perfiles del dentado de correas de distribución.

### Perfil del dentado de una correa de distribución

El perfil del dentado está indicado por un número de dos cifras que está normalizado. Ese número indica el grueso o espesor de la correa, el alto del diente, el ancho del diente y el paso o distancia que hay en un diente y un hueco completos. Por ejemplo, un perfil 45 indica un grueso de correa de 4,8 mm, un alto de diente de 2,3 mm, un ancho de diente de 6,4 mm y un paso de 9,525 mm.



**11.5.** Calado por marcas en polea y pieza fija.

### Sustitución

Tanto la correa de sustitución como la original deben tener una serie de características:

– Que el dentado sea igual, tanto su forma como su perfil. Los dientes pueden ser trapezoidales (más antiguas), curvilíneos o curvilíneos modificados (figura 11.4).
– Que tenga el mismo número de dientes.
– Que sea de igual anchura.

Las correas suelen tener dos tipos de nomenclaturas, una propia del fabricante y otra normalizada. Un ejemplo de nomenclatura normalizada sería la siguiente:

**45093X3/4”**, donde:

– **45** indica el perfil del dentado.
– **093** indica el número de dientes, en este caso 93 dientes.
– **3/4”** indica el ancho en pulgadas de la correa; este ancho puede venir también en milímetros, por ejemplo 19 mm.

Se puede calcular la longitud de una correa de distribución simplemente buscando en una tabla el paso que le corresponde al perfil de la correa y multiplicarlo por el número de dientes.

En el ejemplo de la correa anterior, tiene un perfil 45, que le corresponde un paso de 9,525 mm, y tiene 93 dientes, si los multiplicamos nos dará la longitud en mm:

$$\text{Longitud} = \text{paso} \cdot \text{número dientes} = 9{,}525 \cdot 93 = 885{,}83 \text{ mm}$$

### Calado de la distribución

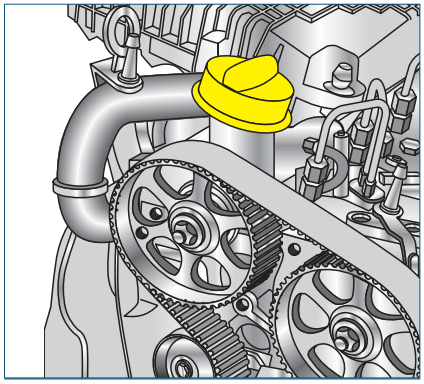
Para realizar la sincronización de la distribución hay que realizar el calado de esta. Las piezas que se suelen calar son el cigüeñal y los árboles de levas en los motores otto, además de la bomba diésel en este tipo de motores.

Calar significa dejar el elemento en cuestión en una posición respecto a los otros para que cuando queden unidos por la correa giren de forma sincronizada.

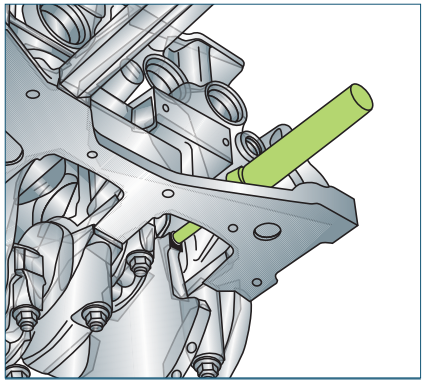
La forma del calado puede ser:

– Por marcas: cuando hay que hacer coincidir una en la pieza móvil y otra en la pieza fija (figura 11.5).
– Por agujeros: llevan practicados uno en la pieza móvil y otro en la pieza fija (figura 11.6). Hay que hacerlas coincidir y posteriormente introducir un tornillo, pasador o útil que además lo inmoviliza.
– Por tope en la pieza móvil y agujero en la pieza fija por el que se introduce un útil en el que hace tope la pieza móvil (figura 11.7).

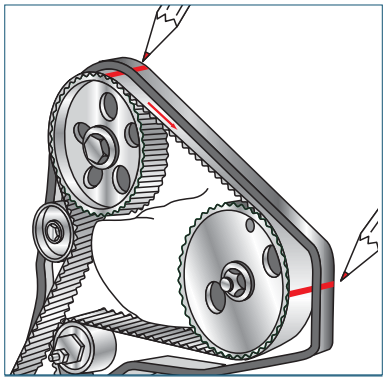
El calado por marcas, una en la pieza móvil y otra en la correa (figura 11.8), es el método de calado menos habitual. En este caso se marca la carcasa o alguna otra pieza fija para hacer coincidir las marcas en el montaje. Es el único caso en que hay que hacer marcas.



**11.6.** Orificios para el pasador del árbol de levas.



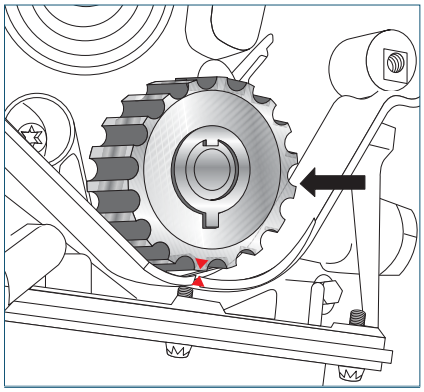
**11.7.** Calado del cigüeñal haciendo tope el contrapeso en el útil.



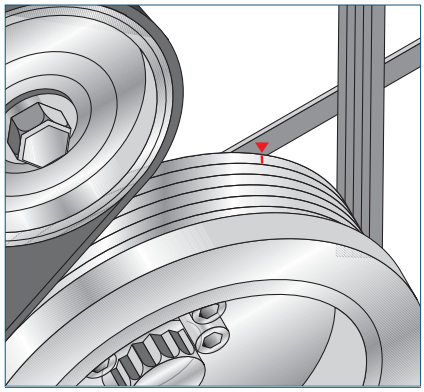
**11.8.** Marcas en la polea y correa.

Las referencias de calado pueden estar:

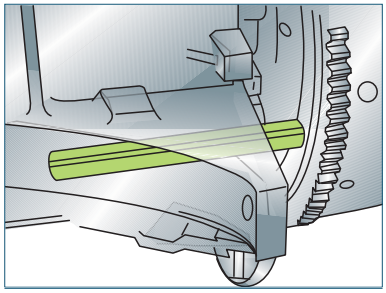
– **Para calar cigüeñales:** en el piñón de la distribución (figura 11.9), en la polea (figura 11.10), en el volante motor (figura 11.11) o en el propio cigüeñal (figura 11.12).



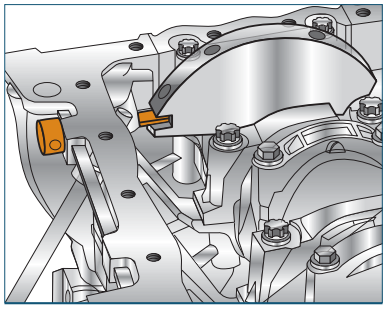
**11.9.** Marcas en el piñón de la distribución.



**11.10.** Marcas en la polea del cigüeñal.

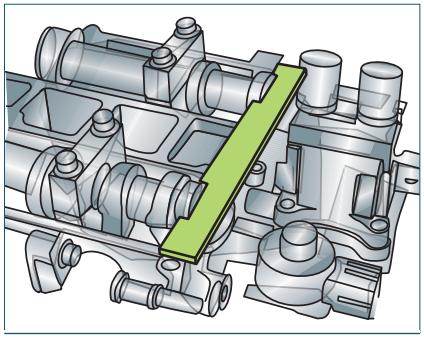


**11.11.** Fijación del cigüeñal por un pasador en el volante.

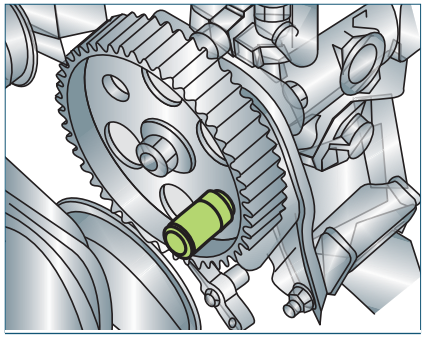


**11.12.** Calado del cigüeñal por pasador en un contrapeso.

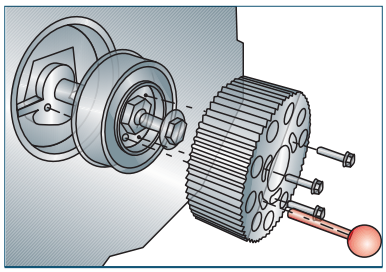
– Para calar árboles de levas: en la rueda dentada, en el buje de la rueda dentada o en la parte trasera del árbol de levas (figura 11.13).
– Para calar bombas de inyección: en la rueda dentada (figura 11.14) o en el buje de la rueda dentada (figura 11.15).



**11.13.** Sujeción de los árboles de levas en su parte trasera.



**11.14.** Calado de la bomba con un pasador en la polea.



**11.15.** Fijación del buje con un pasador de una polea desfasable.

En algunas distribuciones, tanto en bombas como en árboles de levas, la polea se puede desfasar del eje. Esto se hace para que los ejes queden calados perfectamente, independientemente de las pequeñas variaciones de longitud de correa que puede haber. Para ello se ponen los ejes en posición de calado, se sueltan las poleas, se calan los ejes con sus fijaciones, se monta y tensa la correa y se aprietan las poleas a sus respectivos ejes.

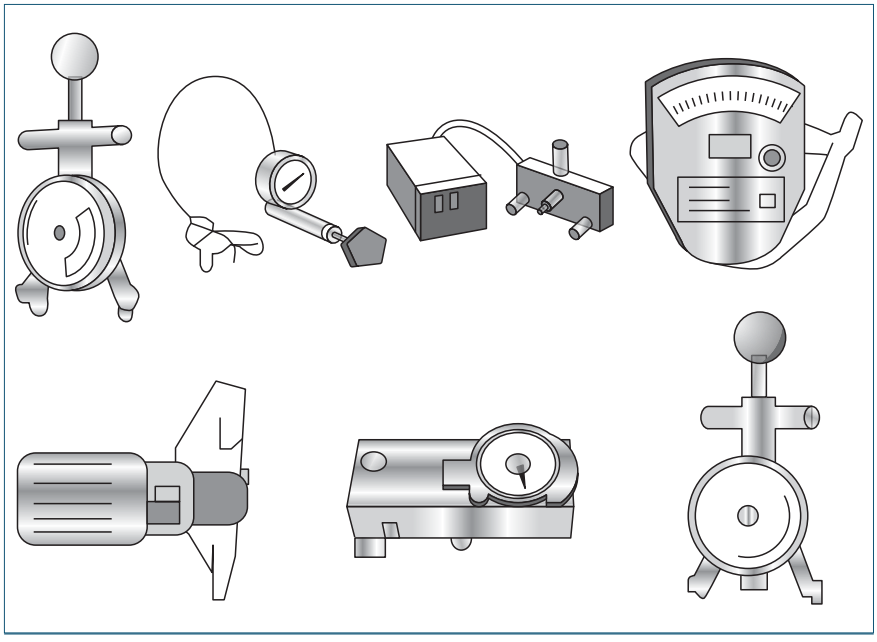
### Tensado

La tensión se puede realizar de dos formas:

– Manualmente, utilizando un tensor manual. La tensión correcta la podemos calcular mediante un tensiómetro.
– Automáticamente, a través de un muelle que ataca al tensor; aun así hay que comprobar con un aparato la tensión para ver si es la adecuada. En la actualidad los tensores llevan un muelle y además un dial que indica la tensión que tiene la correa, por lo que en estos modelos no hace falta comprobarla con el tensiómetro. Existen también tensores hidráulicos automáticos que absorben el destensado que se va produciendo con el paso de los kilómetros; constan de un cuerpo con un muelle interno que aloja a un pistón que forma dos cámaras llenas de aceite y permite el paso entre ellas por un pequeño orificio, parecido a un amortiguador pero con un muelle que tiende a sacar el pistón del cuerpo.

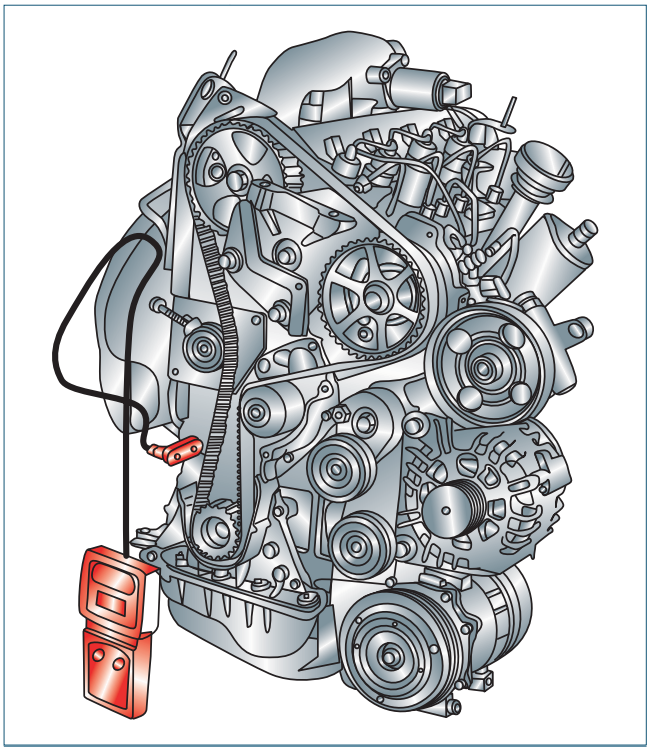
Para medir la tensión de la correa usamos dos tipos de tensiómetros:

– El más habitual es el de **deflexión**, realmente no mide la tensión sino la deflexión de la correa con una carga determinada (figura 11.16); los hay mecánicos y electrónicos. Necesitan saber el grosor de la correa e indican solo si el tensado es correcto; también pueden medir unidades de tensión como las *seem.* Se debe instalar en la correa, en el ramal más largo o en el sitio que indique el fabricante del motor o de la correa.



**11.16.** Tensiómetro por deflexión.

– Otro tipo es el **sónico,** que tampoco mide la tensión directamente, sino que mide la frecuencia del sonido de la correa cuando la hacemos vibrar (figura 11.17); son todos electrónicos y necesitan saber de qué correa se trata. Generalmente, consta del aparato electrónico, un cable y un micrófono de pequeñas dimensiones que se coloca pegado a la correa pero sin tocarla, a una distancia de entre 2 y 10 mm; de esta forma puede recibir la frecuencia de la correa cuando la hagamos vibrar. Indica si la tensión es la correcta, si está floja o demasiado tensada.

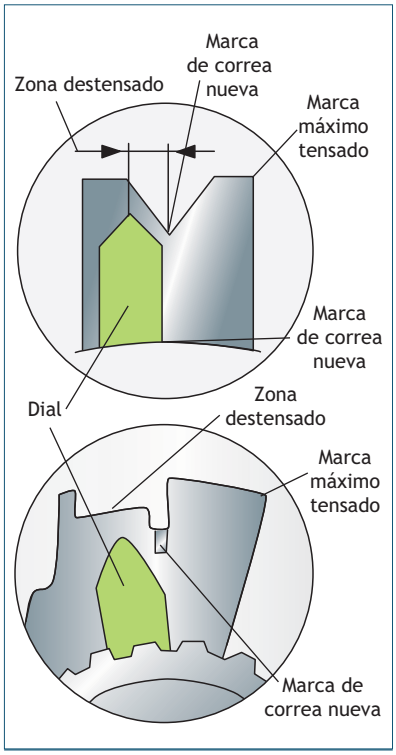


**11.17.** Tensiómetro sónico.

Una correa durante su funcionamiento se alargará, sufriendo el mayor estirado en los primeros momentos o kilómetros de uso, estirándose posteriormente de forma más progresiva.

En los motores más antiguos se daba una tensión a la correa y se dejaba el motor funcionando con esa tensión hasta la sustitución. De esta manera, en los primeros 5 000 km de funcionamiento, aproximadamente, la correa se estiraba el 50% de lo que iba a estirar en su vida en el motor, y en el resto de kilómetros, hasta su sustitución, estiraba el 50% restante.

En los motores más modernos se da una tensión inicial más elevada y el fabricante indica dar varias vueltas a mano en el motor. Con ello se persigue realizar parte de ese estiramiento, para posteriormente fijar la tensión de funcionamiento estándar. Tiene la ventaja de que cuando llega el kilometraje de cambio no queda tan destensada la correa como en los motores antiguos, evitando problemas de salto de dientes. Este tipo de tensado se hace con los tensores modernos automáticos que llevan un dial. Cuando se instala la correa hay que tensar hasta que el dial queda en la zona de máximo tensado (figura 11.18), se frena el tensor y luego se gira el motor unas vueltas en sentido de giro, generalmente cuatro, y se vuelve a poner en marcas. Aquí ya se ha producido el primer estiramiento de la correa, se afloja el tensor y lo movemos hasta que el dial queda en la zona de correa nueva y se vuelve a apretar el tensor. Después se dan dos vueltas en sentido de giro y se comprueba que vuelve a quedar en marcas la correa. Con el paso de los kilómetros y el destensado normal de la correa el dial se irá desplazando hacia la zona de destensado cada vez más, lo que nos sirve también para conocer el estado de la correa.




**11.18.** Ejemplo de dos tipos de diales de tensores automáticos.

Este proceso de hacer el estirado durante el montaje de la correa nueva también se puede realizar en distribuciones con tensores no automáticos. En ese caso el fabricante recomienda dar mayor tensión a la correa la primera vez, indicando mayor número en las unidades del tensiómetro. A continuación, recomienda girar el motor varias vueltas en sentido de giro, ver las marcas y volver a dar el tensado correcto para la correa nueva.

Si se monta una correa de distribución que ya ha sido usada, cosa nada recomendable, hay que fijarse en el dial en qué punto de la zona de des-

tensado estaba y dejarla en la misma posición; no darle nunca un máximo tensado ni más unidades de tensión a una correa usada para estirarla, pues el primer estirado ya lo ha hecho.

Al ver una correa destensada no se debe tensar, a no ser que sepamos que se acaba de poner y se quedó floja, pues puede ser que esté estirada por el paso de los kilómetros y al tensarla de nuevo se puede partir.

Hay que dar la tensión que indica el fabricante a las correas nuevas, pues una correa muy tensada hará ruidos de rodamientos, forzará la correa, los rodillos, tensores, alojamientos del árbol de levas, bomba, etc., y la vida de la correa y de los elementos mecánicos se reducirá. En una correa poco tensada podrá saltar algún diente, desfasándose la distribución, produciendo pérdidas de rendimiento, mal arranque o averías por tocar válvulas con pistones.

Es muy importante, una vez instalada y tensada la correa, comprobar las marcas y girar el motor dos vueltas en sentido de giro y volver a comprobar las marcas. Así nos aseguramos del calado y de que no nos va a tocar un pistón en alguna válvula.

## 2.2 > Tensado de la cadena de distribución

En la actualidad el tensado de las cadenas de distribución se hace automáticamente por un tensor que es accionado por la presión del aceite. Este tensor va absorbiendo los desgastes en los rodillos de la cadena, el alargamiento de esta y el desgaste de los patines por donde se guía la cadena.

Antiguamente existían tensores mecánicos y había que hacer el tensado periódicamente. El proceso era el siguiente:

– Aflojar un tornillo que sujetaba el muelle del tensor.
– Girar a mano el motor en sentido de giro las vueltas que indique el fabricante, generalmente con una o dos es suficiente.
– Apretar el tornillo del tensor.

De esta forma al liberar el muelle del tensor y girar la cadena, el destensado es absorbido por el tensor que es empujado por el muelle que hemos liberado, y al apretar el tornillo se vuelve a sujetar el muelle, quedando tensada la cadena.

## 2.3 > Reglaje de válvulas

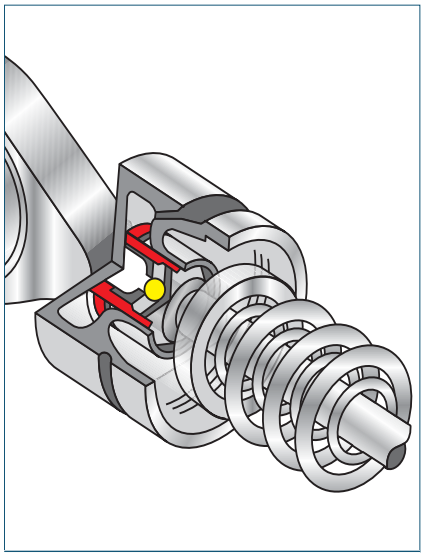
Esta es una de las operaciones de mantenimiento que se ha ido eliminando en algunos motores al instalar en ellos taqués hidráulicos que absorben la holgura constantemente y se adaptan al juego que existía entre leva y válvula, independientemente de la temperatura que tengan.

Existe gran cantidad de motores en los que el accionamiento se hace mecánicamente, debiendo existir una cierta holgura en el accionamiento para absorber dilataciones de los materiales cuando cogen temperatura. Debido al uso y a los desgastes que se producen, estos juegos van variando al cabo de los kilómetros recorridos y hay que volver a restituirlos periódicamente.

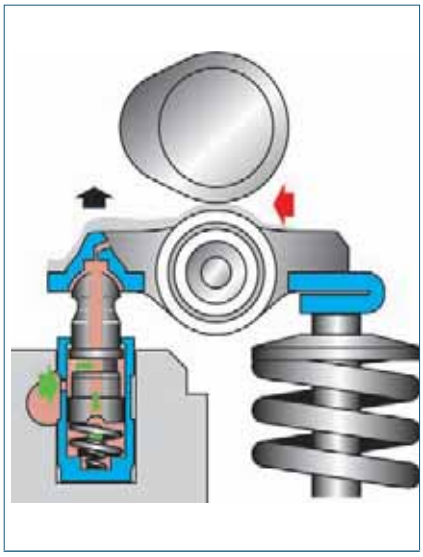
Los juegos los da el fabricante y varían en función de si es para motor caliente o frío, del diámetro del vástago, del material de la válvula y de si es una válvula de admisión o escape, siendo esta última la que mayor juego tiene debido a que sufre mayores dilataciones al soportar temperaturas más altas.

Los reglajes de válvulas se pueden realizar de las siguientes formas:

– Automáticamente a través de **taqués hidráulicos** (figura 11.19) o compensadores hidráulicos (figura 11.20). Estos realizan la compensación automáticamente a cada compresión de la válvula por presión de aceite. Los taqués y los compensadores hidráulicos funcionan de forma muy similar, la diferencia está en que el taqué hidráulico cubre a la válvula y al muelle y el accionamiento suele ser directo leva-taqué-válvula; sin embargo en los compensadores el accionamiento suele ser indirecto por medio de un semibalancín y al no estar sobre la válvula no llevan el alojamiento para esta. Estos elementos hidráulicos no tienen reglajes ni reparación.

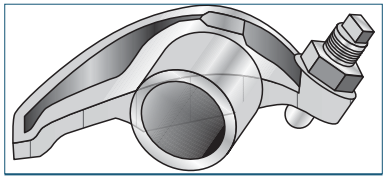


**11.19.** Sección taqué hidráulico.

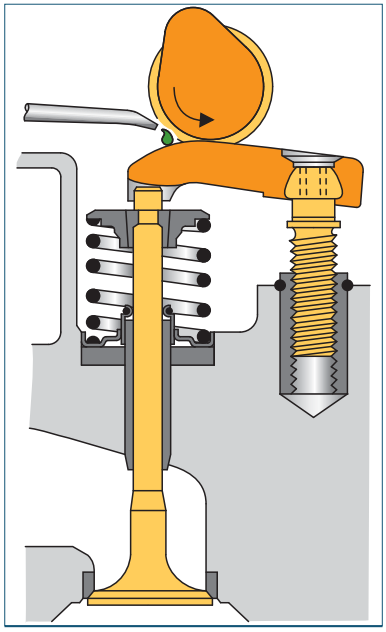


**11.20.** Compensador hidráulico con semibalancín.

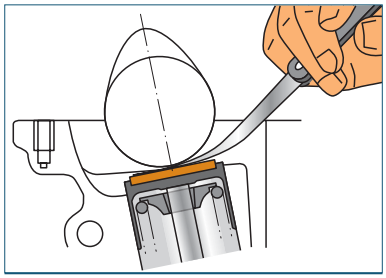
– Por ajuste en un **tornillo**. Este método es empleado generalmente en balancines y semibalancines. A través de un tornillo y de una contratuerca (figura 11.21) o simplemente con un tornillo (figura 11.22) tanto en balancines como en semibalancines.
– A través de **pastillas de reglaje calibradas**. Este método se emplea generalmente cuando el accionamiento es directo del árbol de levas a la válvula, con interposición de un taqué. Las pastillas de reglaje calibradas pueden situarse en la parte alta del taqué (figura 11.23); en este caso se podrán sacar y cambiar por otras con un útil adecuado sin tener que quitar el árbol de levas. También se pueden situar las pastillas de reglaje en la parte baja del taqué (figura 11.24), siendo esta de menor diámetro que las anteriores y necesitando quitar el árbol de levas para extraer los taqués y las pastillas de reglaje.



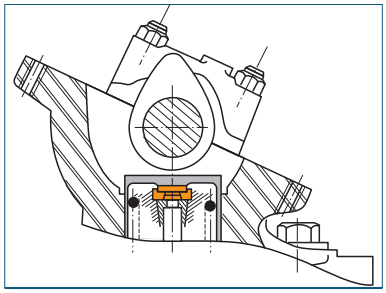
**11.21.** Balancín con tornillo y contratuerca de reglaje.



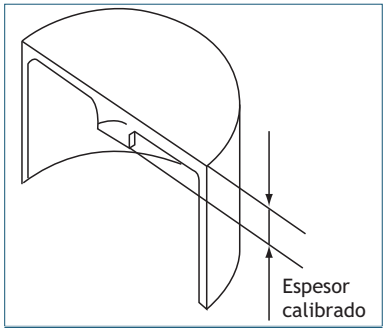
**11.22.** Tornillo de reglaje en un semibalancín.



**11.23.** Taqué con pastilla de reglaje superior.



**11.24.** Taqué con pastilla de reglaje inferior.



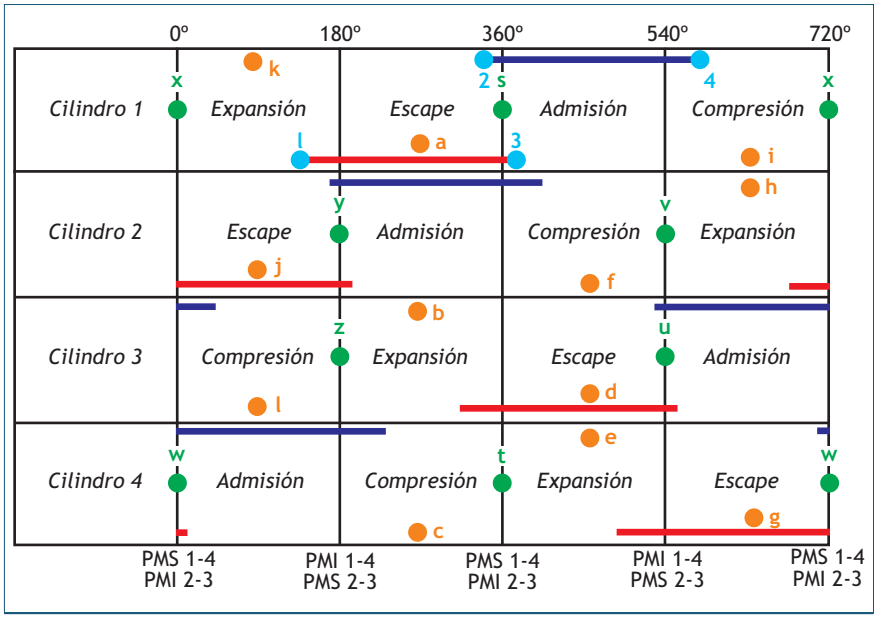

**11.25.** Taqué de espesores.

– A través de **taqués de diferentes espesores** (figura 11.25). En este caso habrá siempre que quitar el árbol de levas para realizar el intercambio que ajuste la holgura.

Existen dos métodos para realizar el reglaje de válvulas: el método del cruce de válvulas y el método de la válvula de escape pisada.

Estos métodos sirven para hacer el reglaje de válvulas, si fuese de tornillo y contratuerca, o bien para la toma de datos de las holguras en los sistemas con taqués de espesores o taqués con pastillas.

Para entender ambos métodos, que se explican a continuación, habrá que ir viendo el siguiente diagrama al que se hace referencia constantemente:




**11.26.** Diagrama apertura de válvulas en el motor.

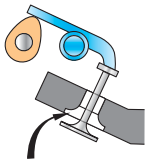
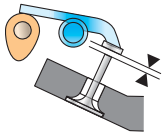
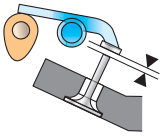
### Método de la válvula de escape pisada (figura 11.26)

En este método, por ejemplo, en un motor de dos válvulas por cilindro, se gira el motor hasta encontrar la válvula de escape del cilindro número 1 totalmente pisada (punto a). En el diagrama este punto es el centro de la apertura de válvula de escape.

En este momento se deben regular o medir la válvula de admisión del cilindro 3 (punto b) y la de escape del cilindro 4 (punto c). En el diagrama se aprecia que en el punto b no hay raya azul, indicando que la válvula de admisión está totalmente cerrada, además está aproximadamente en el centro de su cierre, es decir, muy lejos de su último cierre y muy lejos de su próxima apertura. Lo mismo sucede en el punto c del diagrama, en el que se ve que no hay raya roja, indicando que no está pisada la válvula de escape y que además aproximadamente está a la misma distancia desde su último cierre hasta su próxima apertura.

A continuación, se girará el motor en sentido de giro, normalmente a derechas visto desde la distribución, hasta encontrar la siguiente válvula

de escape que abra, que será la del cilindro 3 si el orden de encendido es 1-3-4-2, pararemos cuando esté totalmente pisada (punto d) y entonces regularemos la válvula de admisión del cilindro 4 (punto e) y la de escape del cilindro 2 (punto f) y así sucesivamente siguiendo el siguiente cuadro:

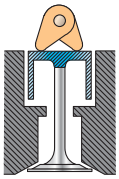
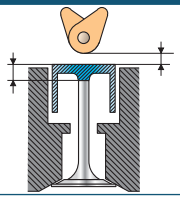
| Pisar totalmente la válvula de escape del cilindro | Regular la válvula de admisión del cilindro | Regular la válvula de escape del cilindro |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 1 (a) | 3 (b) | 4 (c) |
| 3 (d) | 4 (e) | 2 (f) |
| 4 (g) | 2 (h) | 1 (i) |
| 2 (j) | 1 (k) | 3 (l) |

**Método del cruce de válvulas (figura 11.26)**

Este método consiste en girar el motor en sentido de giro normal, a derechas visto desde la distribución, y poner en cruce las válvulas del cilindro número 1, que sería en un motor de dos válvulas por cilindro cuando la válvula de escape y la de admisión están parcialmente pisadas (punto s). En el punto s se puede ver que está la raya azul del cilindro número uno, indicando que la válvula de admisión ya ha empezado a abrir, y que la raya roja del cilindro número uno también está, indicando que todavía no ha cerrado del todo la válvula de escape.

En ese momento se deben regular o medir las válvulas de admisión y escape del cilindro 4 (punto t). En este punto se ve que en el cilindro 4 no hay rayas ni roja ni azul, indicando que no hay válvulas pisadas ni de admisión ni de escape y que además están relativamente lejos de hacerlo.

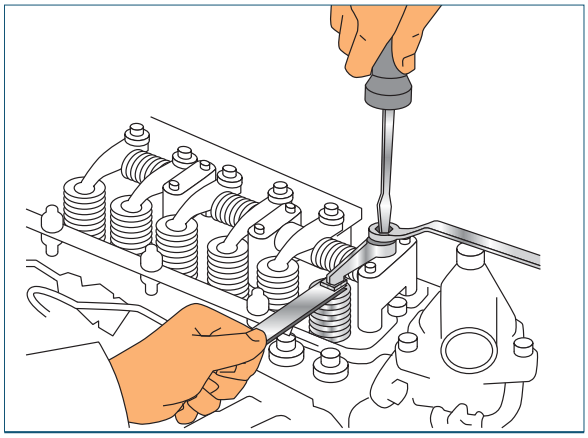
Después seguir girando el motor en sentido de giro de funcionamiento, buscando el siguiente cruce que se produciría en el cilindro 3 (punto u) si el orden de encendido es 1-3-4-2 y regularíamos o mediríamos el cilindro 2 (punto v) y así sucesivamente siguiendo el siguiente cuadro:

| Cruzar el cilindro número | Regular válvulas del cilindro número |
|---|---|
|  |  |
| 1 (s) | 4 (t) |
| 3 (u) | 2 (v) |
| 4 (w) | 1 (x) |
| 2 (y) | 3 (z) |

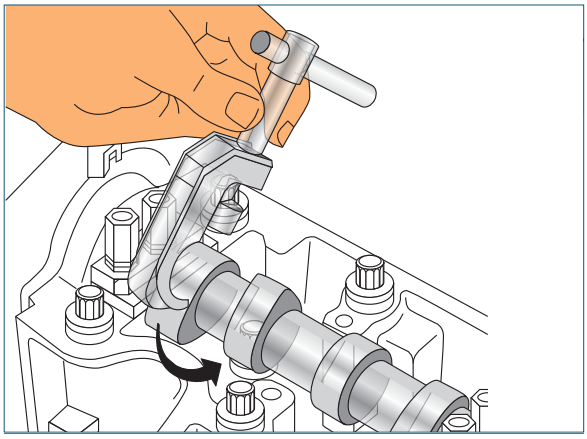
## Técnica

### Proceso de realización del reglaje de válvulas

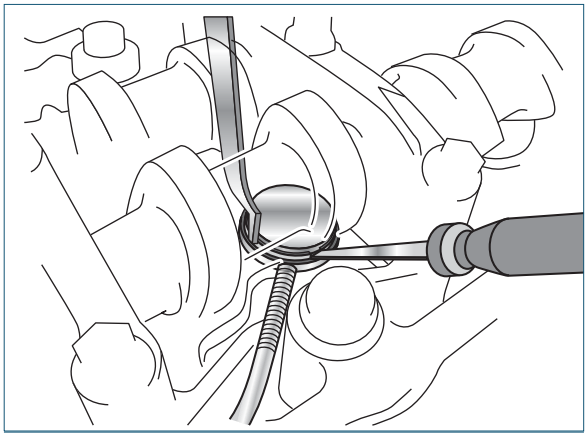
1. Consultar en el manual de taller los datos de reglaje y anotar en el cuadro que vendrá más adelante, en la fila *juego preconizado*.
2. Si se va a realizar el reglaje con los valores de motor frío dejar enfriar el motor.
3. Levantar la tapa de balancines y localizar de cada cilindro cuál o cuáles son las válvulas de admisión y las de escape. Para ello suele ser suficiente con seguir los colectores y ver con qué válvulas coinciden. En la práctica algunas veces no es tan sencillo o podemos no estar seguros del todo, pues entonces procedemos a fijarnos en las válvulas de un cilindro y giramos el motor hasta conseguir el cruce, en este momento, si giramos el motor en sentido de giro normal, a derechas visto desde la distribución, veremos que hay una válvula que cierra, que será la de escape, y otra que abre, que será la de admisión.
4. Elegir un método para realizar el reglaje: método de cruce de válvulas o el de la válvula de escape pisada.
5. Si el reglaje es de tornillo y contratuerca se va actuando sobre la marcha, después de medir y comprobar que es incorrecto aflojar la contratuerca, introduciendo la galga correspondiente y aflojando el tornillo si no entra bien la galga o apretando si entra y hay mucha holgura (figura 11.27). Luego frenar la contratuerca.
6. Seguir el orden del tipo de reglaje elegido.
7. Si el reglaje es de pastillas o taqués de espesores se anotan todas las holguras en el cuadro, en la fila *juego actual*.
8. Calcular la diferencia entre *juego actual* medido y *juego preconizado*. Si el juego actual es menor que el preconizado poner signo negativo.
9. Extraer las pastillas o taqués, según modelo, que no cumplan con la tolerancia indicada por el fabricante. Para extraer las pastillas inferiores o los taqués de espesores habrá que desmontar el árbol de levas y para extraer las pastillas superiores se hace con un útil (figura 11.28) que comprime el muelle empujando en la parte exterior del taqué, dejando libre la pastilla y con un destornillador pequeño o aire a presión (figura 11.29) lo introducimos en una pequeña ranura para sacar la pastilla, ayudándonos con un imán.



**11.27.** Reglaje del juego de válvulas por tornillo y contratuerca.

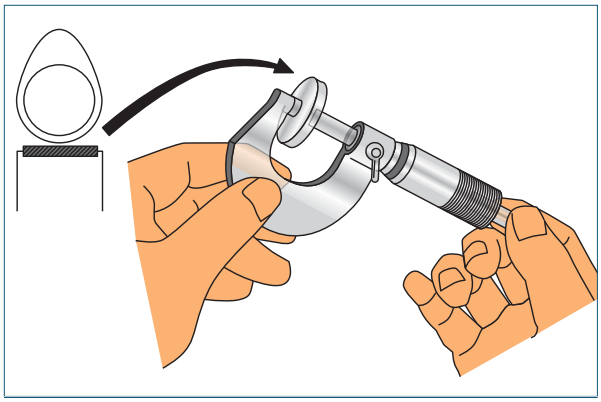


**11.28.** Instalación útil extractor pastillas de reglaje.

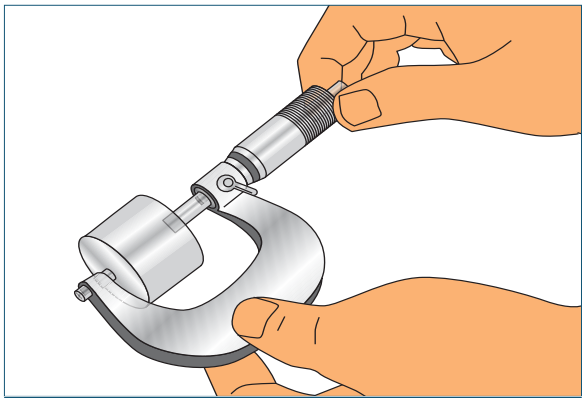


**11.29.** Extracción pastilla de reglaje.

10. Medir las pastillas o taqués con un tornillo micrométrico o un reloj comparador (figuras 11.30 y 11.31) y rellenar la fila *espesor de la pastilla o del taqué*.



**11.30.** Medida del espesor de una pastilla de reglaje.



**11.31.** Comprobación del espesor de un taqué.

Ahora practicar calculando el espesor de las pastillas nuevas. Para ello sumar la *diferencia de los anteriores* al *espesor de la pastilla o taqué*. Continuar calculando los nuevos espesores en el siguiente ejemplo:

| Juego en válvulas de admisión | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cilindros | Cilindro 1 | | Cilindro 2 | | Cilindro 3 | | Cilindro 4 | |
| Taqué número | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Juego actual | 0,25 | 0,10 | 0,15 | 0,05 | 0,25 | 0,30 | 0,15 | 0,10 |
| Juego preconizado | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Diferencia de los anteriores | 0,10 | - 0,05 | 0 | | | | | |
| Espesor de la pastilla o taqué | 3,00 | 2,95 | 2,90 | 3,05 | 3,05 | 3,00 | 2,95 | 3,05 |
| Espesor recalculado (suma de los dos anteriores) | 3,10 | 2,90 | 2,90 | | | | | |
| **Juego en válvulas de escape** | | | | | | | | |
| Cilindros | Cilindro 1 | | Cilindro 2 | | Cilindro 3 | | Cilindro 4 | |
| Taqué número | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Juego actual | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,10 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,30 |
| Juego preconizado | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Diferencia de los anteriores | | | | | | | | |
| Espesor de la pastilla o taqué | 3,05 | 3,00 | 3,00 | 3,05 | 2,95 | 2,90 | 2,95 | 3,10 |
| Espesor recalculado (suma de los dos anteriores) | | | | | | | | |

11. Colocar las pastillas o los taqués que hubiera que cambiar por otros del espesor correcto.
12. Comprobar que está bien hecho el reglaje.
13. Colocar la tapa de balancines con una junta nueva.

## 3 >> Verificaciones en los sistemas de distribución

Una vez que se ha desmontado una culata y desarmado todos sus componentes de la distribución se procede a inspeccionar sus elementos. Siempre hay que hacer inspecciones visuales generales para detectar posibles fallos como desgastes, rayaduras, desprendimientos de material, oxidación, deformaciones, etc. Posteriormente se procede a realizar verificaciones más específicas de cada componente.

## Técnica

### Verificación de las válvulas

**Inspección visual y limpieza**

Realizar una inspección visual de las válvulas una a una, intentando ver la cantidad de carbonilla depositada, detectando posibles deformaciones en su zona de accionamiento, en su asiento y en su vástago. Rodar la válvula sobre un mármol de ajuste con la cabeza por fuera para ver si está doblada. Si la válvula está en buenas condiciones se procede a su limpieza: colocamos un cepillo o grata metálica en el taladro de sobremesa y procedemos a descarbonizar la válvula (figura 11.32), usando siempre guantes de cuero gruesos, mascarilla de polvo y gafas.

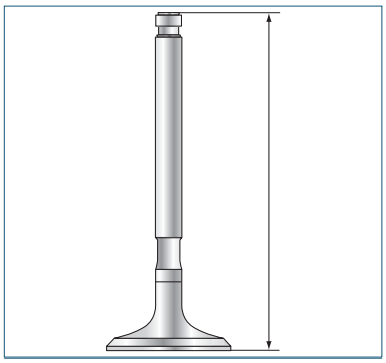
**Longitud de las válvulas**

Es suficiente con medir la longitud con un calibre (figura 11.33) y comparar el resultado con la medida que indica el fabricante. Las válvulas en algunas ocasiones se acortan por el desgaste que sufre la cola de la válvula en su accionamiento, pero otras veces se alargan debido a que en el cierre de la válvula la cabeza es frenada bruscamente al chocar con el asiento, pero la inercia que tiene y el muelle empujan la cazoleta superior, produciendo un esfuerzo de tracción que alarga la válvula.

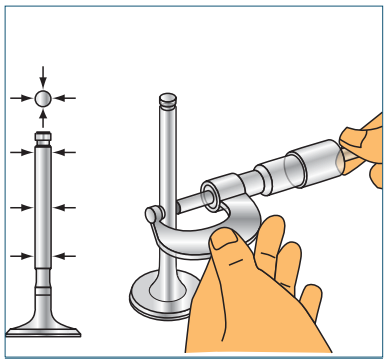
**Diámetro de los vástagos**

El diámetro de los vástagos se mide con un micrómetro de 0-25 mm. En total se realizan seis medidas por válvula: dos medidas con un desfase de 90° a tres alturas distintas, siempre hechas en la zona en la que roza la guía de la válvula (figura 11.34). Estas dos medidas se hacen para ver si hay ovalamiento del vástago de la válvula. Se realiza a tres alturas distintas para comprobar si hay conicidad en el vástago. A continuación, hay que comparar los resultados con las tolerancias recomendadas por del fabricante.

**11.32.** Detalle de la limpieza de una válvula.



**11.33.** Medida de la longitud de una válvula.



**11.34.** Verificación del diámetro del vástago de una válvula.

## Técnica

### Verificación de las guías de válvulas

**Inspección visual**

La inspección visual trata de comprobar que no existen roturas ni fisuras en la guía. Las guías, fabricadas de fundición, son duras pero relativamente frágiles.

**Diámetro interior de las guías de válvulas**

La medida del diámetro interno de las guías de las válvulas se realiza con un micrómetro de interiores especial para su diámetro (figura 11.35). Las medidas que se realizan son las mismas que en las válvulas, seis en total por guía, haciendo dos medidas con un desfase de 90° para ver si existe ovalamiento y a tres alturas distintas para ver si existe conicidad. Comparar con las tolerancias que indica el fabricante.

**11.35.** Verificación del diámetro interior de las guías de válvula.

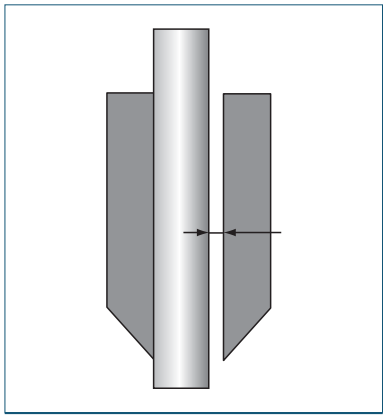
## Técnica

### Verificación del juego entre guía y válvula

•• Esta verificación se puede realizar de dos formas distintas: bien calculando la diferencia que existe entre los diámetros, o bien midiendo el juego con un reloj comparador. El desgaste suele ser mayor en motores con balancines que atacan las válvulas, pues se producen mayores empujes laterales que en los motores con taqués sobre las válvulas, siendo éstos últimos los que soportan el empuje lateral más que la válvula.

**Por diferencias entre diámetros**

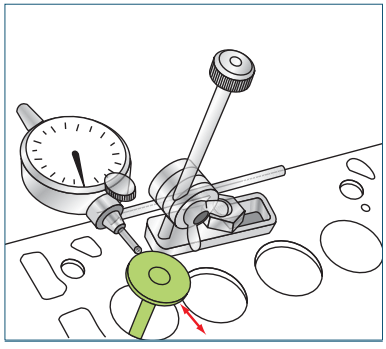
Consiste en calcular la diferencia existente entre el diámetro interior de la guía y el diámetro exterior de la válvula correspondiente (figura 11.36), teniendo en cuenta que es necesario escoger la mayor medida obtenida en el diámetro interior de la guía y la menor medida obtenida en el diámetro exterior de la válvula. Dicha diferencia será la holgura y habrá que comprobarla con los datos del fabricante. Esta comprobación permite averiguar si se deben sustituir guías y/o válvulas.



**11.36.** Juego de montaje entre guía y válvula.

**Midiendo el juego con un comparador**

La otra forma de medir el juego es hacerlo directamente con un reloj comparador colocado sobre la cabeza de la válvula, siempre que esta esté introducida en su guía pero ligeramente abierta (figura 11.37). Para medir movemos la válvula en la dirección del palpador del reloj comparador en las dos direcciones y anotamos la medida, para posteriormente comprobarla con la que recomienda el fabricante. Este método nos permite saber si el problema proviene de la válvula, de la guía o de los dos, a diferencia del anterior.

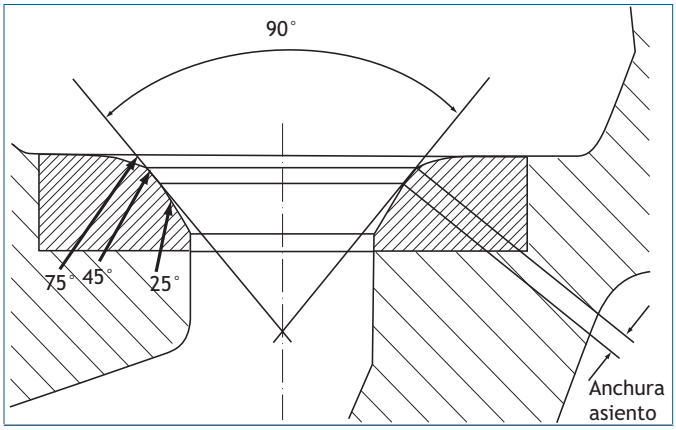


**11.37.** Medición directa del juego entre guía y válvula.

## Técnica

### Verificación de los asientos de las válvulas en la culata

•• Lo más habitual es hacer una inspección visual de los asientos intentando buscar zonas dañadas, rayadas o picadas, revisando los ángulos y la anchura del asiento (figura 11.38). Otra verificación sería medir la altura de la válvula respecto del plano (ver unidad didáctica 7). Si después de un esmerilado se mide la estanqueidad de las válvulas y esta no es buena a pesar del buen estado de las válvulas, el problema es de los asientos. En este caso deben ser rectificados o sustituidos.




**11.38.** Verificación de los ángulos y anchura del asiento de la culata.

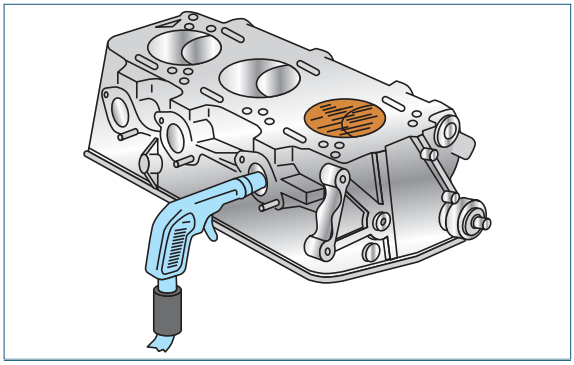
## Técnica

### Verificación de la estanqueidad de las válvulas

•• Siempre que se desmonten válvulas habrá que hacer la comprobación de estanqueidad de estas en sus asientos de la culata.

Hay distintas formas de realizarlo: una sería colocar la culata horizontalmente con las cámaras hacia arriba; con las válvulas y la bujía instaladas, se echa un líquido que no oxide, líquido de frenos por ejemplo, y se introduce aire a presión por el colector (figura 11.39), sujetando las válvulas cerradas con los dedos; con un poco de papel enrollado en la pistola de aire conseguiremos hacer la estanqueidad entre colector y pistola y que la prueba sea más fiable. Si aparecen burbujas indica una falta de estanqueidad que generalmente con un esmerilado se soluciona; si no fuera así habrá que cambiar válvulas y/o rectificar asientos de la culata.

Esta prueba en los vehículos diésel no se puede hacer bien por la falta de cámara de combustión, así pues lo haremos con una máquina de vacío (figura 11.40), que se aplica al colector con una especie de seta de goma unida con un tubo a la máquina de vacío, teniendo la culata instaladas sus válvulas y en función del vacío que aguante sabremos la estanqueidad. Para decir que es buena la estanqueidad debe aguantar un vacío entre 0,55 y 0,75 b. Con este aparato se puede comprobar la estanqueidad de cualquier tipo de culata.



**11.39.** Verificación de la estanqueidad introduciendo aire a presión por los colectores.

**11.40.** Máquina de vacío para verificar la estanqueidad de las válvulas.

## Técnica

### Verificación de los muelles de válvulas

•• Existen distintos tipos de verificaciones en los muelles que deben realizarse: como medir la longitud del muelle en vacío, sin carga, la longitud del muelle bajo carga y la desviación de este respecto de la superficie de apoyo.

**Longitud sin carga**

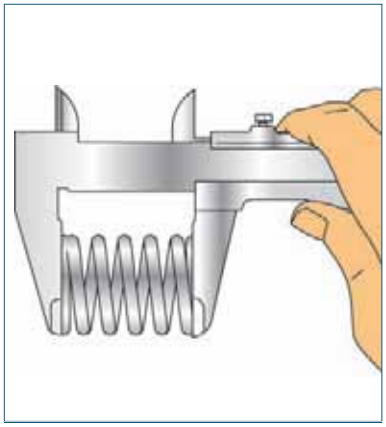
Se mide con un calibre (figura 11.41) y se compara con lo indicado por el fabricante. Otro método es por comparación con los otros muelles, pero no es muy fiable al haber tenido el mismo trabajo todos los muelles y supuestamente haber sufrido la misma fatiga.

**Longitud bajo carga**

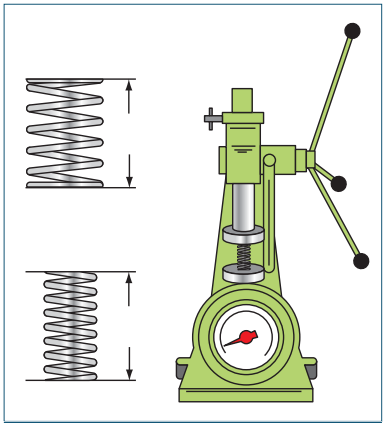
Como la anterior se trata de conocer la fatiga que ha sufrido el muelle, pero en este caso haciéndole trabajar, es decir, comprimiéndole con un compresor de muelles especial (figura 11.42) con una determinada carga, la indicada por el fabricante, y en ese momento se vuelve a medir su longitud. La longitud en este caso se suele medir con el mismo aparato que le da la carga; si no tiene esa opción, usar un calibre como en el caso anterior. Comprobar los datos con las tolerancias del fabricante. Un muelle fatigado tendrá menor longitud.

**Desviación del muelle**

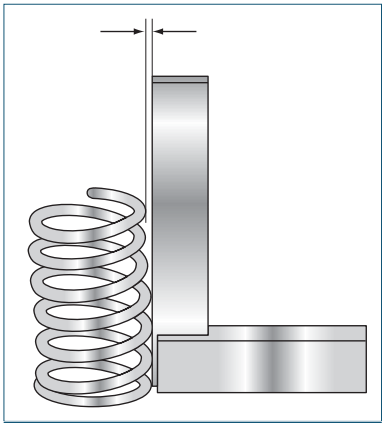
También es importante comprobar la desviación del muelle, pues si existe producirá un empuje lateral a la válvula y hará que roce con mayor fuerza contra la guía, sufriendo mayores desgastes. Se comprueba mediante una escuadra y unas galgas (figura 11.43). Comparar con las tolerancias del fabricante.



**11.41.** Medida de la longitud sin carga de un muelle.



**11.42.** Medida de la longitud bajo carga de un muelle.



**11.43.** Verificación de la desviación de un muelle de válvula.

## Técnica

### Verificación del eje de balancines y de los balancines

•• Se debe comprobar el eje de balancines por una parte, y por otra, los balancines. Aunque no se debe olvidar comprobar que los muelles y los *circlips* de cierre laterales se encuentran en su sitio.

### Verificación del eje de balancines

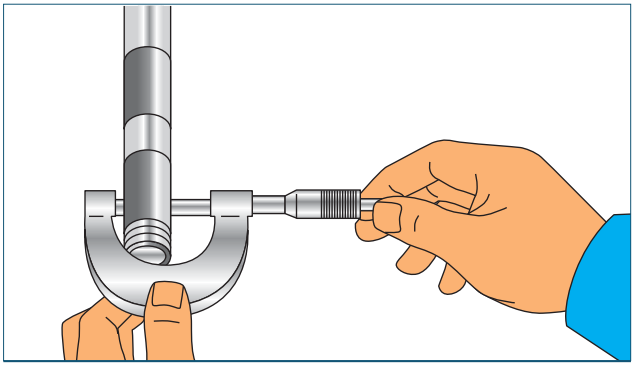
Observar visualmente los desgastes, muchas veces fácilmente visibles. Asegurarse que el eje no esté doblado, para ello lo rodamos sobre un mármol de ajuste. Ver que no están obstruidos los orificios de engrase. Se puede medir su diámetro donde han ido los balancines con un micrómetro (figura 11.44). Se hacen dos medidas desfasadas 90° para ver si 0hay ovalamiento.

### Verificación de los balancines

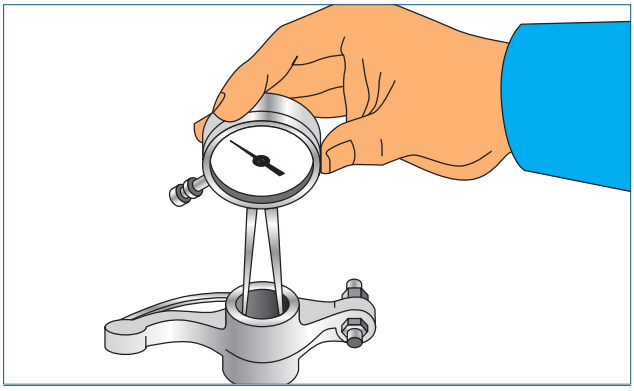
Inspeccionar visualmente sobre todo la zona de giro en el eje y la zona de rozamiento con la cola de la válvula, ahí es donde se producen los mayores desgastes. Se puede medir con un micrómetro de interiores el diámetro interior del balancín (figura 11.45), se realizan dos medidas desfasadas 90° para ver si hay ovalamiento.

### Juego de montaje del eje de balancines con los balancines

Calcular la diferencia del mayor diámetro interior del balancín y el menor diámetro exterior del eje de balancines. Si existe mucho juego entre eje y balancines la presión del circuito de engrase puede caer. Si esto sucede, se debe sustituir el eje con sus balancines.



**11.44.** Medida del diámetro del eje de balancines con un micrómetro.

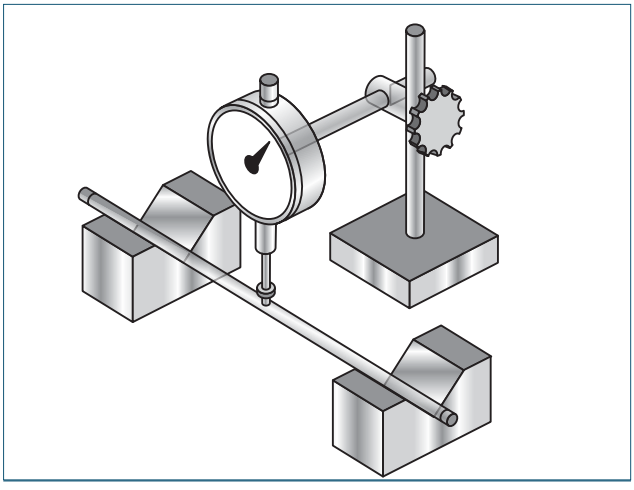


**11.45.** Verificación del diámetro de los balancines con un micrómetro de interiores.

## Técnica

### Verificación de las varillas

•• Las varillas empujadoras que se usan en los motores que llevan el árbol de levas en el bloque deben verificarse en longitud, y colocándolas en dos calzos en V ver su excentricidad con un reloj comparador (figura 11.46).



**11.46.** Verificación de una varilla con un reloj comparador.

## Técnica

### Verificaciones del árbol de levas

•• El árbol de levas es una de las piezas más importantes del sistema de distribución, por tanto, habrá que prestar especial atención a todas sus verificaciones.

**Verificación de los diámetros de los apoyos**

Medir los apoyos con un micrómetro (figura 11.47) adecuado al diámetro de estos, en dos medidas desfasadas 90°, teniendo cuidado en que no coincidan con el orificio de engrase.

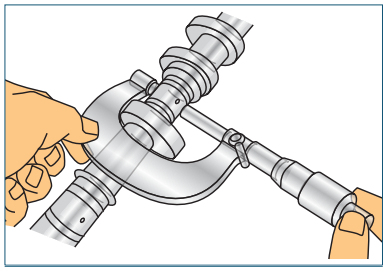
Haciendo la diferencia de las dos medidas tenemos el ovalamiento de la muñequilla. Comprobar con las tolerancias del fabricante.

**Verificación de la excentricidad del árbol de levas**

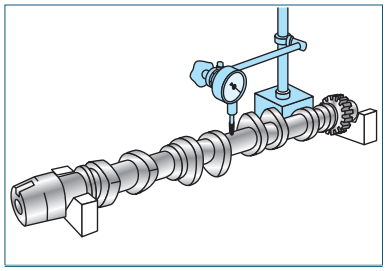
La excentricidad del árbol de levas se comprueba apoyándolo entre unos calzos en forma de V y colocando un reloj comparador en el centro (figura 11.48), ajustándolo a cero y al hacer girar el árbol, las desviaciones de la aguja indicarán su excentricidad si la muñequilla no está ovalada. Si en la verificación anterior la muñequilla central ha demostrado un ovalamiento determinado, a la medida obtenida en el reloj habrá que restarle la medida de ovalamiento. Por ejemplo, la muñequilla central se ha medido en varios sitios y está ovalada 0,10 mm y al medir la excentricidad el reloj comparador da 0,14 mm: se puede decir que hay un ovalamiento de 0,10 y una excentricidad añadida de 0,14 – 0,10 = 0,04 mm.

**Verificación de los lóbulos de las levas**

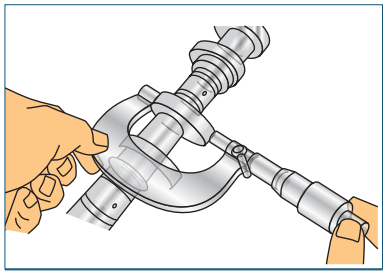
Esta verificación se realiza con un micrómetro adecuado a la medida a realizar (figura 11.49). Se debe medir el mayor diámetro que podamos obtener en la leva y comparándolo con el dato del fabricante podremos comprobar cuánto se ha desgastado la leva con el uso y si se debe sustituir o no.



**11.47.** Medida del diámetro de los apoyos con un micrómetro.



**11.48.** Verificación de la excentricidad del árbol con un reloj comparador.



**11.49.** Verificación del lóbulo de las levas con un micrómetro.

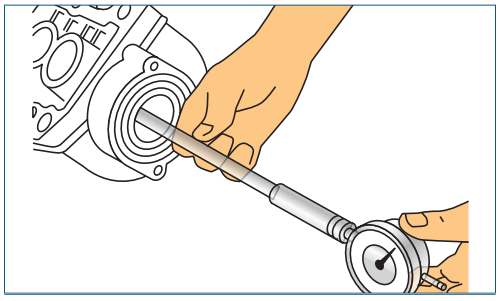
## Técnica

### Verificación del alojamiento del árbol de levas

•• Los alojamientos se deben inspeccionar visualmente para detectar deformaciones, rayaduras, etc.

Después se procede a medir el diámetro interior con un alexómetro o con un micrómetro de interiores (figura 11.50) en dos medidas desfasadas entre sí 90° para ver si existe ovalamiento.

Si el alojamiento no está entero en la culata habrá que colocar los sombreretes y apretarlos a su par antes de medir.



**11.50.** Medida del diámetro interior de los apoyos del árbol de levas con un alexómetro.

## Técnica

### Verificación del juego entre árbol y alojamientos

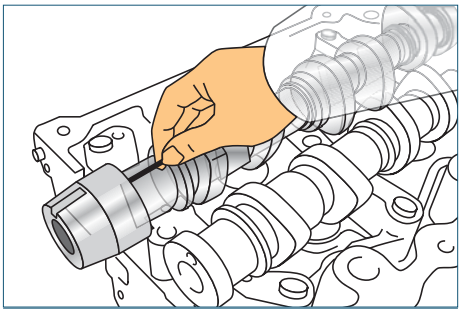
•• Esta comprobación se puede realizar de dos formas: una sería midiendo los dos diámetros y restándolos; otra posibilidad, si la culata tiene sombreretes para sujetar el árbol de levas, es comprobar mediante hilo plástico calibrado. Si existe un juego mayor del normal y conocemos los dos diámetros sabremos de dónde proviene el problema, si del árbol, de la culata o de los dos. Si lo hacemos con el hilo plástico calibrado tenemos menos información. Holguras grandes entre árbol de levas y sus apoyos pueden producir caídas de presión en el circuito de engrase. Verificar esto último si hay problemas de baja presión.

**Diferencia de diámetros**

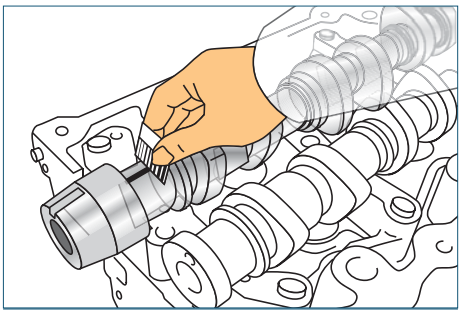
Una vez medido el diámetro interior del alojamiento y el exterior del árbol de levas, el juego será la diferencia entre ambos, teniendo en cuenta de escoger la mayor medida del diámetro interior de los apoyos de la culata y la menor medida del diámetro exterior de los apoyos.

**Mediante hilo plástico calibrado**

Solo se puede realizar si el árbol va con apoyos partidos (sombreretes). Con todo bien limpio y con la culata sin válvulas instalar el árbol de levas, y antes de montar los sombreretes se coloca longitudinalmente sobre cada apoyo una pieza de hilo plástico calibrado cortada a medida (figura 11.51). Después se instalan los sombreretes y se aprietan a su par. Sin girar el árbol de levas retirar los sombreretes y con el papel que envolvía el hilo plástico calibrado medir la anchura de este una vez que haya sido apretado por el sombrerete (figura 11.52). Cada anchura se corresponde con una medida de juego de montaje: a mayor anchura menor juego de montaje y viceversa. Comprobar el juego con las tolerancias del fabricante. Si está fuera de tolerancias habrá que medir los diámetros como en el ejemplo anterior para ver si el problema es de culata, del árbol de levas o de los dos.



**11.51.** Colocación del hilo plástico calibrado.

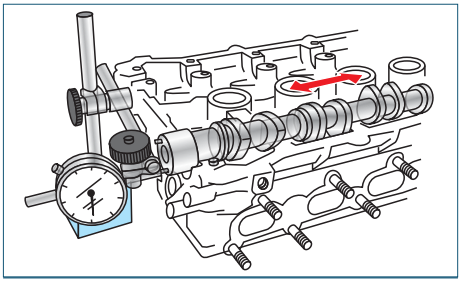


**11.52.** Medición del hilo plástico calibrado que indica el juego de montaje.

## Técnica

### Verificación del juego axial del árbol de levas

•• Consiste en medir el desplazamiento axial, en la dirección del eje del árbol de levas. Para ello se instala el árbol de levas sin válvulas; montar si lleva alguna chapa de posicionamiento del árbol de levas, si lleva sombreretes no es necesario montarlos. Colocar un reloj comparador apoyado en un extremo del árbol de levas con su palpador totalmente paralelo al eje del árbol de levas (figura 11.53) y mover este axialmente ayudándonos con un destornillador. Anotar la medida y comprobarla con la tolerancia del fabricante.

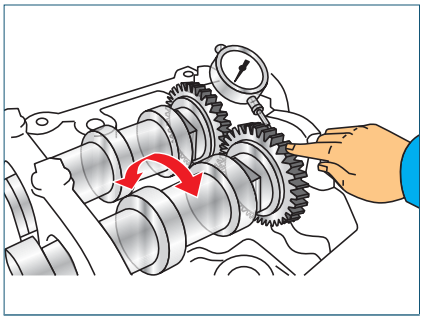


**11.53.** Verificación del juego axial del árbol de levas con un reloj comparador.

## Técnica

### Verificación del juego de los engranajes en el árbol de levas

•• Si tenemos doble árbol de levas y la correa de distribución acciona solo uno, el otro irá accionado generalmente por una cadena o unos engranajes helicoidales. En este último caso habrá que comprobar el juego que existe entre estos engranajes. Esto se hace colocando el palpador de un reloj comparador lo más tangencialmente posible a un diente de uno de los engranajes (figura 11.54); frenando el otro engranaje, mover el que tiene el reloj comparador en los dos sentidos, anotar la medida obtenida y comprobarla con la tolerancia del fabricante.



**11.54.** Verificación del juego de los engranajes del árbol de levas con un reloj comparador.

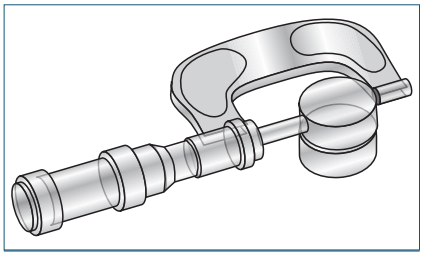
## Técnica

### Verificación de los taqués

•• La verificación de los taqués consiste en medir su diámetro exterior. En los taqués hidráulicos, que llevan interiormente un pistón y un cilindro más una válvula de bola, habrá que hacer una verificación especial.

**Verificación diámetro exterior**

Se realiza midiendo el diámetro con un micrómetro de exteriores adecuado a la medida a realizar (figura 11.55), haciendo dos medidas desfasadas 90° entre sí para ver si existe ovalamiento. Comprobar con las tolerancias que indica el fabricante.

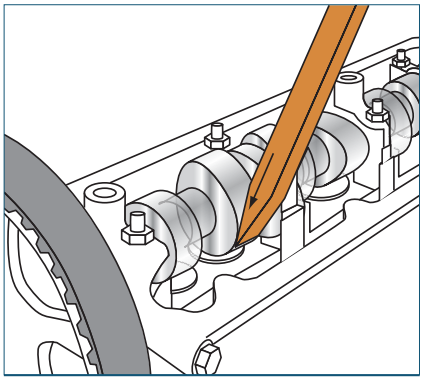


**11.55.** Verificación del diámetro exterior de los taqués con un micrómetro.

**Verificación de los taqués hidráulicos**

Esta verificación se hace ya con la culata montada y el proceso es el siguiente:

1. Sustituir el aceite del motor por uno de viscosidad adecuada a la temperatura ambiente, según el fabricante, poniendo cuidado en dejar el nivel adecuado en el cárter para evitar formación de espumas.
2. Arrancar el motor hasta que salte el ventilador.
3. Acelerar durante dos o tres minutos a unas 2 500 rpm.
4. Parar el motor.
5. Levantar la tapa de balancines.
6. Con la leva en la parte más alta presionar con una cuña de plástico fuerte sobre el exterior del taqué intentando comprimir el muelle de la válvula (figura 11.56) y medir luego, con una galga de espesores, el juego que existe, normalmente debe ser de 0,1 mm (de todas formas ver tolerancia del fabricante). Si es mayor sustituir los taqués. Hacer esto con todos los taqués.



**11.56.** Comprobación de un taqué hidráulico.

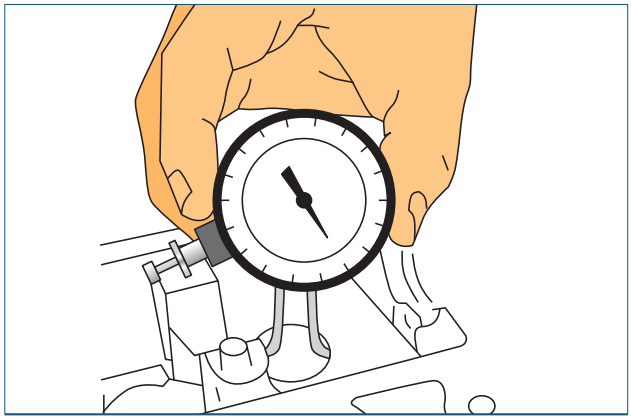
## Técnica

### Verificación del diámetro del alojamiento de los taqués

•• Se realiza midiendo el diámetro interior de los alojamientos de los taqués en la culata con un micrómetro de interiores adecuado a la medida a realizar (figura 11.57).

También habrá que realizar dos medidas desfasadas 90° una de otra para ver si existe ovalamiento.

Comparar con las tolerancias que indica el manual del fabricante.



**11.57.** Verificación del diámetro de alojamientos de los taqués con micrómetro de interiores.

## Técnica

### Verificación del juego entre taqués y alojamientos

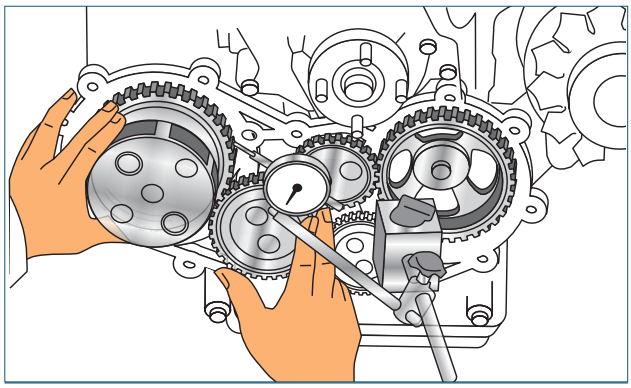
•• El juego, en este caso, solo se puede realizar mediante la diferencia entre el diámetro interior del alojamiento en la culata y el diámetro exterior del taqué, teniendo en cuenta que debemos usar el mayor diámetro interno medido y el menor diámetro externo medido para obtener el juego de montaje. Comparar con las tolerancias indicadas por el fabricante. Si está fuera de tolerancia el problema puede ser de los taqués, de la culata o de ambos.

## Técnica

### Verificación de los engranajes de distribución

•• Se realiza igual que en los engranajes de los árboles de levas: colocamos el palpador de un reloj comparador lo más tangencialmente posible a un diente de uno de los engranajes (figura 11.58) y frenando el otro engranaje, mover el que tiene el reloj comparador en los dos sentidos. Anotar la medida obtenida y comprobarla con la tolerancia del fabricante.

Antiguamente se colocaban en las cascadas de engranajes dientes rectos en sus piñones, en este caso también se podría hacer introduciendo una galga de espesores entre los dientes de dos engranajes, siendo su espesor el juego entre los engranajes.



**11.58.** Verificación del juego de los engranajes de la distribución con un reloj comparador.

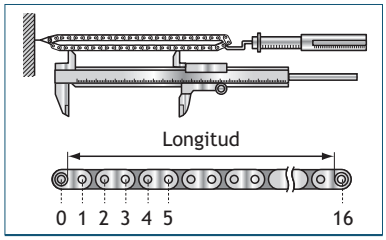
# Técnica

## Verificación de la cadena y de los piñones de distribución

•• En las distribuciones por cadena es necesario verificar la cadena, pues se va estirando con el uso, el tensor, los patines y los piñones, pues estos también van sufriendo desgastes. Veamos las verificaciones.

### Verificación de la cadena de distribución

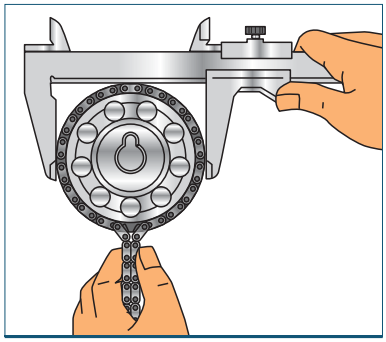
Una vez desmontada se estira con la fuerza indicada por el manual con un dinamómetro, alrededor de 4 kgf, y se mide con un calibre (figura 11.59) la distancia que hay entre el número de rodillos indicados por el fabricante por el interior, usando las bocas del calibre para medir interiores. Comprobar con la tolerancia del fabricante.




**11.59.** Comprobación del estirado de la cadena.

### Verificación de los piñones de la distribución

Para ello colocamos la cadena exteriormente en el engranaje y medimos el diámetro, colocando el calibre en los rodillos (figura 11.60), no en las chapas de cierre, y comparamos con la tolerancia del fabricante. Esta verificación es igual en todos los piñones, tanto de cigüeñal como de árboles de levas y bomba de inyección.



**11.60.** Verificación del diámetro del piñón del árbol de levas con cadena.

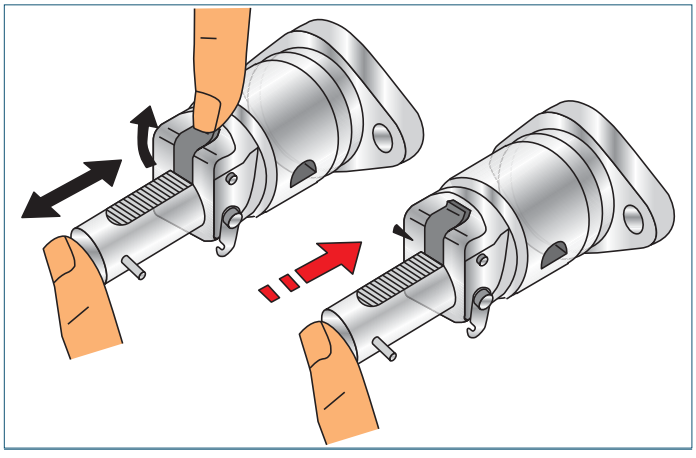
### Verificación del tensor hidráulico de la cadena

La verificación del tensor es solo visual y debemos limpiarlo bien, sobre todo los pasos de aceite. Verificar que levantando el trinquete se desplaza suavemente el pistón en ambos sentidos (figura 11.61).

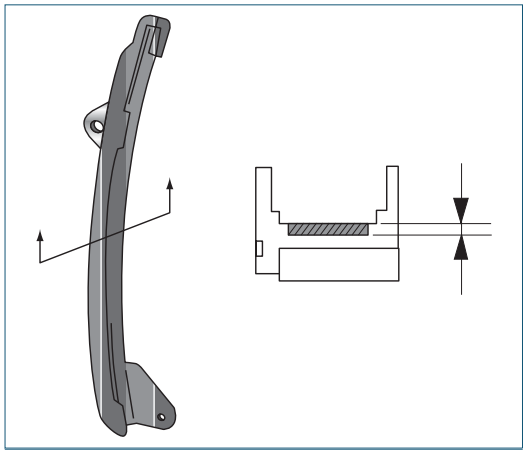
Comprobar que con el trinquete suelto el pistón se desplaza bien hacia fuera saltando el trinquete y que no puede introducirse intentando oprimirlo. Antes de montarlo, cebarlo de aceite.

### Verificación de los patines de la cadena

La verificación de los patines también suele ser visual, excepto cuando el manual te da un espesor de zona de fricción y este se puede medir con un calibre (figura 11.62). Si es así, compararlo con la tolerancia que indica el fabricante.



**11.61.** Comprobación de un tensor hidráulico de cadena.



**11.62.** Comprobación de un patín de una cadena.

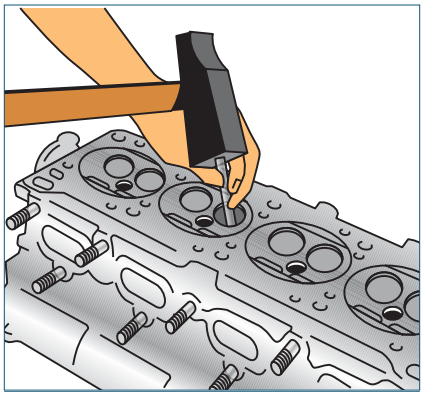
## 4 >> Reparaciones en los sistemas de distribución

Una vez hechas las verificaciones en los elementos de la distribución habrá veces que tengamos que sustituir piezas y es posible también que tengamos que reparar las existentes.

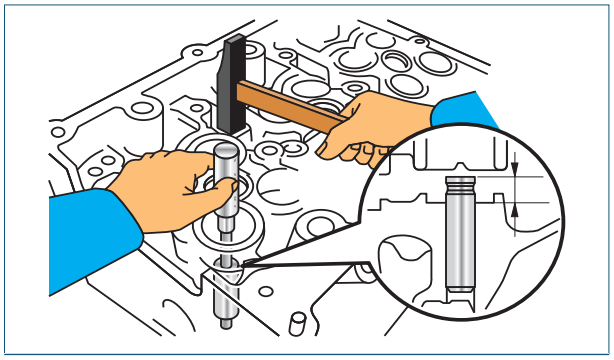
### Técnica

#### Desmontaje y montaje de las guías de válvula

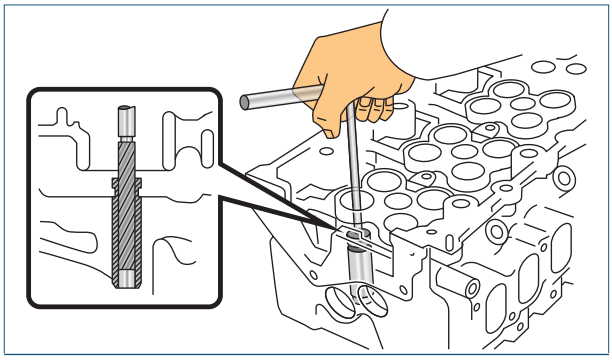
1. Calentar la culata sumergieéndola en un baño de agua a 80-90 °C. Colocando la culata con el plano de asiento al bloque hacia arriba y con un martillo y un útil a modo de botador que tiene un reborde que apoya en la pared de la guía, golpear hasta sacar la guía antigua (figura 11.63).
2. En la operación de insertado de guías es más importante que la culata esté bien dilatada que en la extracción. Introducir la nueva guía también con el útil botador y martillo, en esta ocasión de arriba hacia abajo (figura 11.64), teniendo en cuenta la medida que debe sobresalir.
3. Una vez instalada la guía se instala la nueva válvula y se mide el juego. Si es inferior al recomendado habrá que escariar la guía de la válvula (figura 11.65) hasta dejarla con el juego correcto.



**11.63.** Extracción de una guía de válvula.



**11.64.** Insertado de una guía de válvula.



**11.65.** Escariado de una guía de válvula.

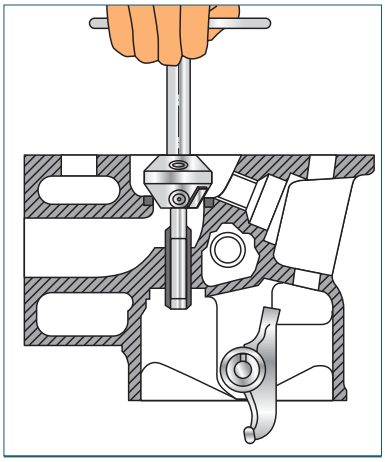
### Técnica

#### Sustitución y rectificación de los asientos de las válvulas en la culata

•• Si la zona del asiento está simplemente sucia o ligeramente deformada se pueden fresar los asientos a mano con una fresa de 45° (figura 11.66). Si la anchura de contacto es mayor habrá que rectificar los asientos. Si se encuentran daños importantes que no se pueden subsanar con un fresado habrá que sustituirlos y luego hay que fresarlos para darles los ángulos correctos. El proceso de sustitución es el siguiente:

1. Fresar los asientos antiguos hasta su destrucción total, cuidado de no introducir la fresa en la culata.
2. Limpiar los restos y tomar las medidas de los alojamientos en la culata.

3. Calentar la culata en un baño a 85-95 °C y tener los asientos enfriados con nitrógeno líquido; insertarlo posteriormente con un útil que guía el asiento con la guía de la válvula para que queden concéntricos.
4. Ahora habrá que rectificar los asientos con tres muelas de diferentes ángulos según indique el fabricante. Las muelas llevan en su eje una varilla que sirve de centrador para introducir en la guía de la válvula y que estos queden concéntricos.
5. Primero introducir la muela del ángulo de la válvula, generalmente 45°.
6. El asiento suele quedar más ancho de lo recomendado por el fabricante; para conseguir estrecharlo vamos a trabajar con dos fresas, una de entrada, generalmente de 75° y otra de salida, generalmente entre 20 y 30°.
7. Introducir las muelas de entrada y salida hasta conseguir una anchura correcta de los asientos en la zona de apoyo de la válvula.
8. Esmerilar y comprobar estanqueidad.



**11.66.** Limpieza de asientos con fresa a mano.

## Técnica

### Sustitución de taqués hidráulicos

•• Si se llega a la conclusión de que hay que sustituirlos, habrá que conocer el origen del defecto que tienen. Un taqué puede fallar por las siguientes causas:

- Haber sido contaminados con aceite sucio; si la suciedad se deposita en la válvula que regula la entrada de aceite, este no podrá entrar a la cámara de alta presión, con lo que el taqué se irá descargando poco a poco por el hueco de milésimas de mm existente entre el pistón y el cuerpo del taqué; o bien si la suciedad no deja cerrar la válvula, con lo que el taqué al ser atacado por la leva se comprimirá y la válvula abrirá menos, quedando mucho juego posterior que producirá ruido. En estos casos hay que limpiar previamente el circuito de engrase limpiando el cárter, cambiando el filtro y echando aceite de viscosidad adecuada al motor, sustituyéndolo cada 1 000 km un par de veces para limpiar el circuito antes de cambiar los taqués.
- Tener aire en su interior; en este caso habrá que hacer bien el nivel del aceite, pues si es alto o bajo puede producir espumas que portan aire que entra a los taqués. Para purgarlos se calienta el motor hasta que salta el electro y se acelera el motor a 2 500 rpm durante dos o tres minutos; dejar a ralentí un minuto y repetir la operación dos o tres veces más, después comprobar los taqués: si siguen igual, habrá que sustituirlos.
- Desgaste del pistón y su alojamiento: en este caso con sustituirlos será suficiente.

**Puntos a tener en cuenta a la hora de montaje de los taqués**

- Diagnosticar y corregir el problema antes de instalar piezas nuevas (taqués, árbol de levas, válvulas, etc.).
- Limpiar bien todos los componentes de la distribución, así como todos los pasos de aceite.
- Comprobar el desgaste de los alojamientos de los taqués, muelles (longitud y presión), apoyos del árbol de levas (desgaste o fatiga), balancines y válvulas.
- Los taqués hidráulicos se suministran bañados en aceite.
- Lubricar bien los taqués antes de montarlos para que no sufran daños en el arranque.
- Una vez montados los taqués, no arrancar inmediatamente, pues la longitud de estos puede exceder la necesaria por tener mayor cantidad de aceite, haciendo que las válvulas no cierren y puedan golpear con los pistones. Si dejamos el motor sin arrancar durante media hora será suficiente para que tiren todo el aceite que les sobre y adquieran la longitud adecuada.

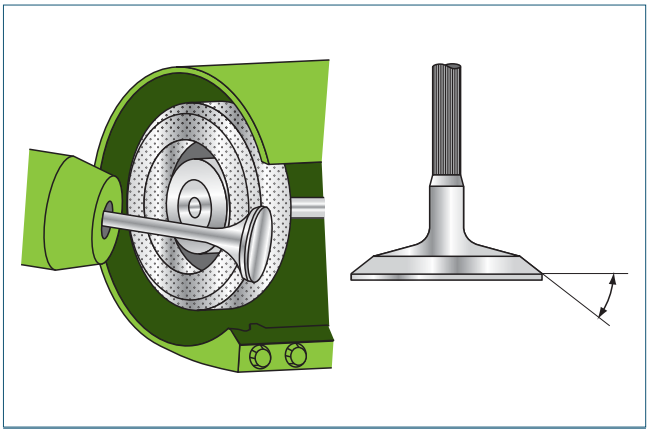
»

- Los taqués hay que rodarlos cuando se montan nuevos: para ello arrancar el motor y no dejarlo a ralentí, acelerarlo entre 1 500 y 2 000 vueltas durante media hora. A ralentí o a bajas vueltas la lubricación es insuficiente y no se consigue rotar los taqués lo necesario, con lo que el rodaje no se hará correctamente.
- Tener en cuenta que voltear el motor, sin que este arranque, de forma prolongada puede dañar el árbol de levas y los taqués por falta de engrase.

## Técnica

### Rectificado de válvulas

•• Las válvulas se pueden rectificar si después de su inspección visual y de la medida de sus cotas se determina que están en buen estado y el único defecto es que su asiento está ligeramente rehundido a causa del uso. Para ello usamos una máquina que dispone de un cabezal donde se introduce la válvula y queda ahí fija; además de girarla, lleva una muela que puede rectificar el asiento con la inclinación que queramos, generalmente 0,5° más o menos de 45° para conseguir una buena estanqueidad. Para ello se desplaza el cabezal con la válvula girando, aproximando poco a poco la válvula a la muela para ir haciendo pasadas (figura 11.67).



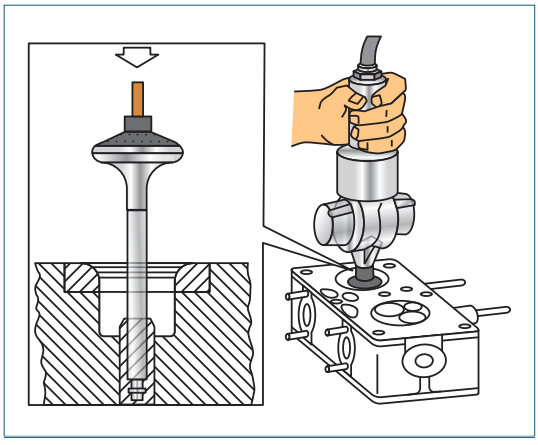
**11.67.** Fresado de asientos.

## Técnica

### Esmerilado de válvulas

•• Hay que volver a asentar las válvulas si se rectifican asientos, se cambian válvulas o simplemente si se ve que no hacen buen cierre entre el asiento y la válvula.

1. Para ello se introduce la válvula en su guía, se le aplica un poco de pasta de esmeril en el asiento y se la hace girar a la vez que se aprieta contra el asiento a mano con una ventosa o con una máquina (figura 11.68). Cuando se ve el asiento con una banda de igual anchura y de color mate, se para y se limpia muy bien para que no queden residuos de esmeril que dañarían el motor.
2. Asentar las válvulas golpeándolas contra su asiento. Comprobar fugas como se ha indicado anteriormente antes de montar las válvulas con sus muelles para verificar el trabajo. Si hay fugas, repetir el esmerilado poniendo cuidado de que no quede nada de arenilla del esmeril en el asiento que impida que la válvula cierre. Si sigue con fugas habrá que rectificar asientos y/o válvulas.



**11.68.** Esmirilado de una válvula.

## Actividades finales

1·· ¿A qué puede ser debida una falta de estanqueidad en las válvulas de un cilindro?

2·· ¿Qué le ocurre a una correa de distribución con el paso de los kilómetros?

3·· ¿Por qué no se debe arrancar un motor con los taqués hidráulicos recién cambiados?

4·· ¿Qué elementos se deben sincronizar con la distribución en un motor otto? ¿Y en un diésel?

5·· Si me encuentro una correa destensada y no sé ni los kilómetros ni el tiempo que lleva, ¿qué debo hacer? Razona tu respuesta.

6·· ¿Qué dos formas existen de calcular el juego de montaje entre el árbol de levas y su alojamiento, siendo este con sombreretes?

7·· A la hora de montar una correa nueva, ¿qué debo comprobar en esta respecto de la antigua?

8·· ¿Para qué se da un tensado mayor al montar una correa y luego se le da su tensado de funcionamiento normal?

9·· Indica tres mecanismos para hacer el reglaje de válvulas, exceptuando el de taqués hidráulicos.

10·· ¿Qué precaución más importante debo tener después de montar una distribución y antes de arrancar?

11·· A la hora de hacer un reglaje de válvulas, ¿qué ventajas tienen las pastillas superiores con respecto a las inferiores y a los taqués de espesores?

12·· Un consumo de aceite elevado, estando el motor bien de compresión, ¿a qué elemento de la distribución puede ser debido?

13·· ¿Qué formas de comprobar la estanqueidad de las válvulas conoces?

14·· Una presión de aceite baja en el motor achacable a la distribución, ¿a qué partes de la distribución puede ser debida?

15·· ¿Cómo se purgan los taqués hidráulicos?

16·· ¿Qué ocurre si rectifico en exceso una válvula?

17·· ¿Qué dos parámetros usa un fabricante a la hora de determinar la duración de la correa de la distribución?

18·· ¿Qué precauciones se deben tener con las correas de distribución en su almacenaje y montaje?

19·· ¿Qué ventajas tienen las distribuciones con poleas desfasables?

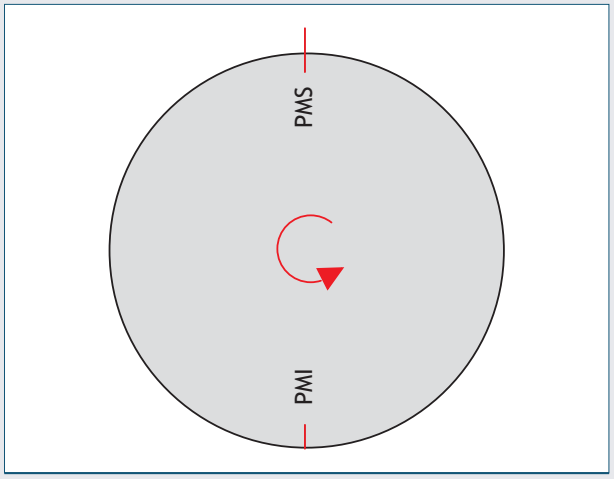
20·· ¿Cómo se consigue rodar los taqués hidráulicos cuando se han montado nuevos?

## Caso final

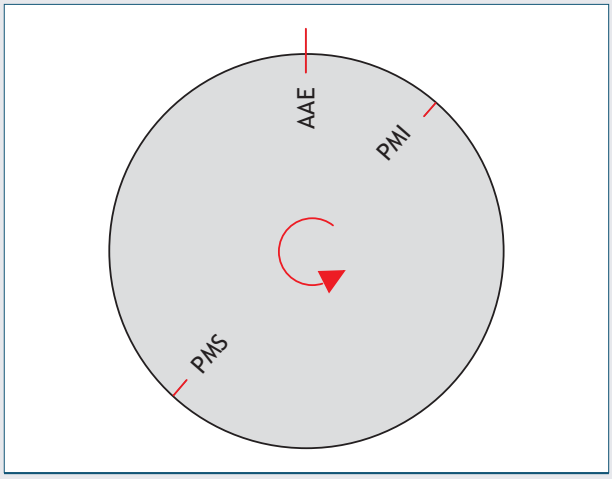
### Cálculo de las cotas de distribución

•• Las cotas de distribución se pueden sacar en el taller cuando tenemos el motor desmontado del vehículo. Hace falta hacer un reglaje de puesta en fase en el cilindro 1. Este es un reglaje que da el fabricante para calcular las cotas de distribución del motor: solo sirve para esto, el motor no puede funcionar con ese reglaje. En motores de taqués hidráulicos no es posible realizarlo, pues no se puede poner el reglaje de puesta en fase y además con el motor sin arrancar no hay presión en los taqués hidráulicos. En distribuciones variables tampoco tiene sentido hacerlo, pues dependiendo de las revoluciones o de la carga habrá un diagrama distinto. Hay que seguir los siguientes pasos:

1. Retirar el embrague y dejar el volante motor al descubierto.
2. Hacer el reglaje de puesta en fase en el cilindro 1.
3. Colocar el cilindro número 1 en PMS en compresión, con las válvulas cerradas.
4. Hacer en el volante una marca de PMS y una fija en el bloque que coincida con esta, si no las tiene, y una diametralmente opuesta en el volante motor que será la del PMI (figura 11.69).
5. Colocar dos relojes comparadores, uno sobre el platillo superior de la válvula de admisión y otro sobre el platillo superior de la válvula de escape, ambas del cilindro número 1.
6. Partiendo del PMS del cilindro número 1 y estando este en compresión (punto x en el diagrama visto en la figura 11.26), giramos el motor a derechas, visto desde la distribución, observando los relojes comparadores para ver cuál se moverá primero.
7. Antes de media vuelta, la aguja del reloj de la válvula de escape se moverá primero, en ese momento inicial del movimiento será el AAE (punto 1 del diagrama): hacer una marca en el volante coincidiendo con la marca fija (figura 11.70).

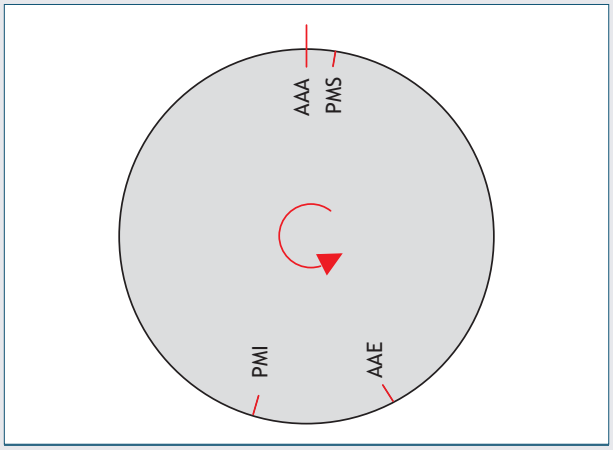



**11.69.** PMS y PMI.

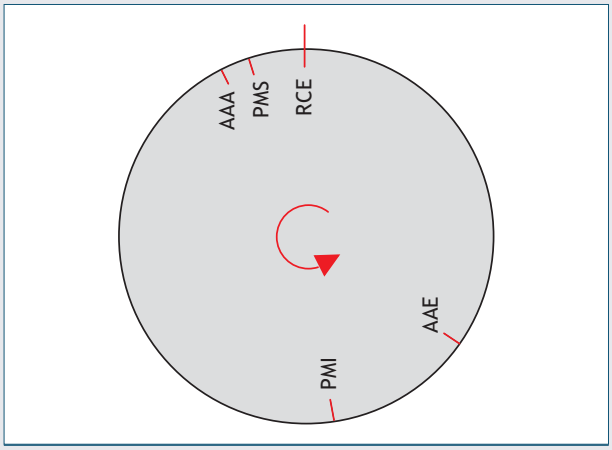



**11.70.** Avance apertura de escape (AAE).

8. Seguimos girando y al pasar un poco más de media vuelta se empezará a mover la aguja del reloj de la válvula de admisión. Ese momento inicial del movimiento será el AAA (punto 2 del diagrama): hacer una marca en el volante coincidiendo con la marca fija (figura 11.71).
9. Seguimos girando y enseguida dejará de moverse la aguja de la válvula de escape. En ese momento final del movimiento será el RCE (punto 3 del diagrama): hacer una marca en el volante coincidiendo con la marca fija (figura 11.72). Desde el punto anterior, punto 2, hasta aquí, punto 3, las válvulas de admisión y escape estaban parcialmente abiertas: a esto se le llama cruce de válvulas.




**11.71.** Avance de apertura de admisión.




**11.72.** Retraso de cierre de escape (RCE).

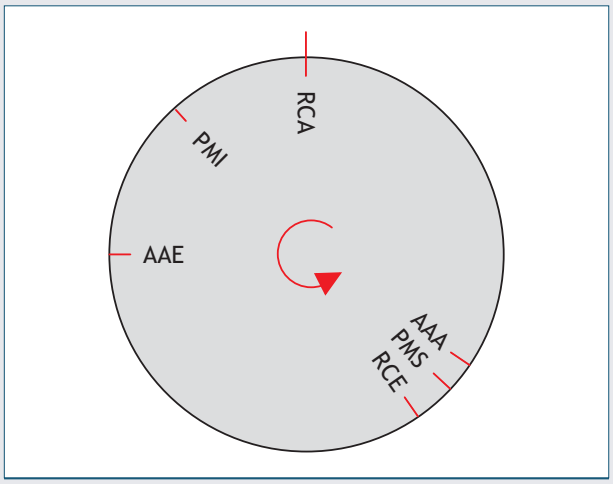
10. Por último, seguir girando el cigüeñal un poco más de media vuelta y veremos que la aguja del reloj de la válvula de admisión deja de moverse. En ese momento final del movimiento será el RCA (punto 4 del diagrama): hacer una marca en el volante coincidiendo con la marca fija (figura 11.73).
11. Con un goniómetro o bien contando dientes del volante (figura 11.74) y haciendo una regla de tres para pasarlo a grados, podremos sacar las 4 cotas del diagrama de distribución:

$$\text{Grados} = \frac{\text{número de dientes} \cdot 360^\circ}{140 \text{ dientes}}$$

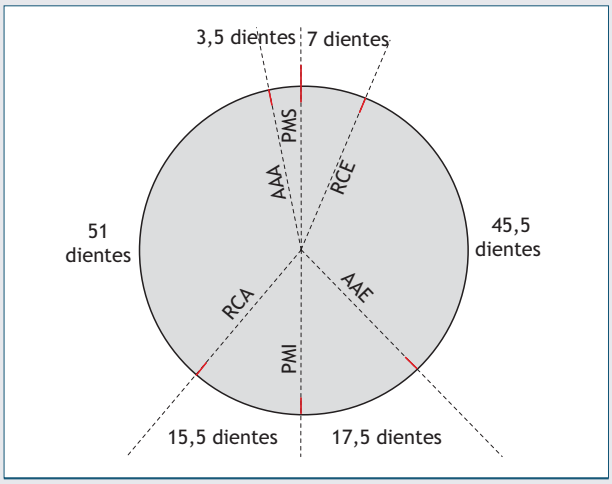
$$\text{AAA} = 3{,}5 \cdot \frac{360}{140} = 3{,}5 \cdot 2{,}57 = 9^\circ$$

$$\text{RCA} = 15{,}5 \cdot 2{,}57 = 39{,}84^\circ$$
$$\text{AAE} = 17{,}5 \cdot 2{,}57 = 44{,}98^\circ$$
$$\text{RCE} = 7 \cdot 2{,}57 = 17{,}99^\circ$$

Quedando las siguientes cotas en el diagrama de distribución: 9-40-45-18

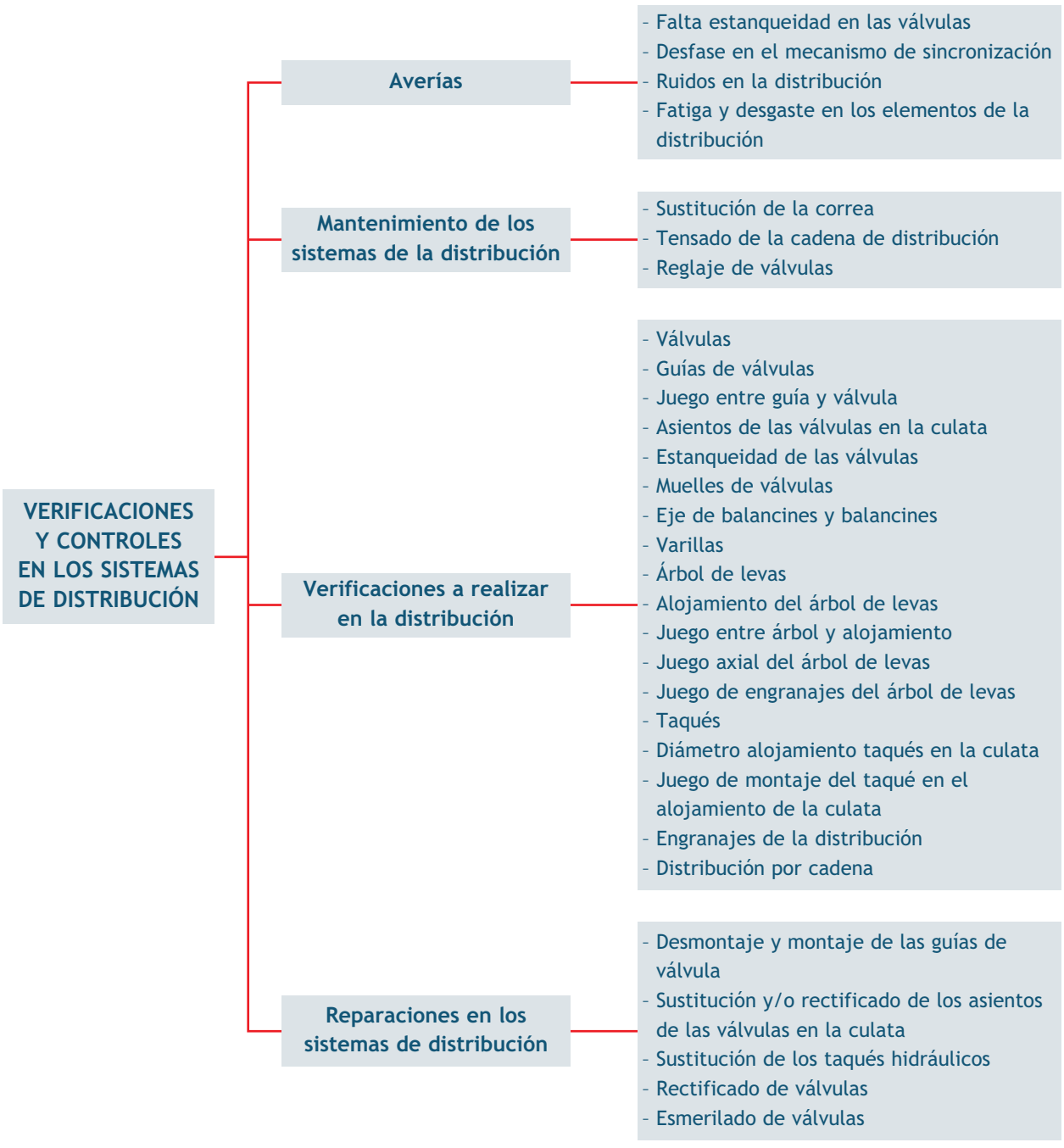



**11.73.** Retraso de cierre de admisión (RCA).




**11.74.** Ejemplo de diagrama de distribución.

## Ideas clave


VERIFICACIONES Y CONTROLES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN
Averías
- Falta estanqueidad en las válvulas
- Desfase en el mecanismo de sincronización
- Ruidos en la distribución
- Fatiga y desgaste en los elementos de la distribución
Mantenimiento de los sistemas de la distribución
- Sustitución de la correa
- Tensado de la cadena de distribución
- Reglaje de válvulas
Verificaciones a realizar en la distribución
- Válvulas
- Guías de válvulas
- Juego entre guía y válvula
- Asientos de las válvulas en la culata
- Estanqueidad de las válvulas
- Muelles de válvulas
- Eje de balancines y balancines
- Varillas
- Árbol de levas
- Alojamiento del árbol de levas
- Juego entre árbol y alojamiento
- Juego axial del árbol de levas
- Juego de engranajes del árbol de levas
- Taqués
- Diámetro alojamiento taqués en la culata
- Juego de montaje del taqué en el alojamiento de la culata
- Engranajes de la distribución
- Distribución por cadena
Reparaciones en los sistemas de distribución
- Desmontaje y montaje de las guías de válvula
- Sustitución y/o rectificado de los asientos de las válvulas en la culata
- Sustitución de los taqués hidráulicos
- Rectificado de válvulas
- Esmerilado de válvulas

# DEFECTOS EN LAS VÁLVULAS DEL MOTOR

Los elementos más solicitados de la distribución son, sin lugar a dudas las válvulas, pues están sometidas a grandes esfuerzos térmicos, mecánicos y químicos.

En la cabeza soportan enormes temperaturas puntuales. El vástago soporta esfuerzos de tracción cuando cierra la válvula, de compresión entre el alojamiento de la chavetas y la cola de la válvula, de flexión alternos y de rozamiento en todo el vástago, sobre todo si es accionada por balancín. La cabeza sufre esfuerzos de golpeteo en la zona del asiento, esfuerzos térmicos puntuales muy grandes, ataques químicos al estar en contacto con los combustibles y los azufres que llevan estos, etc.

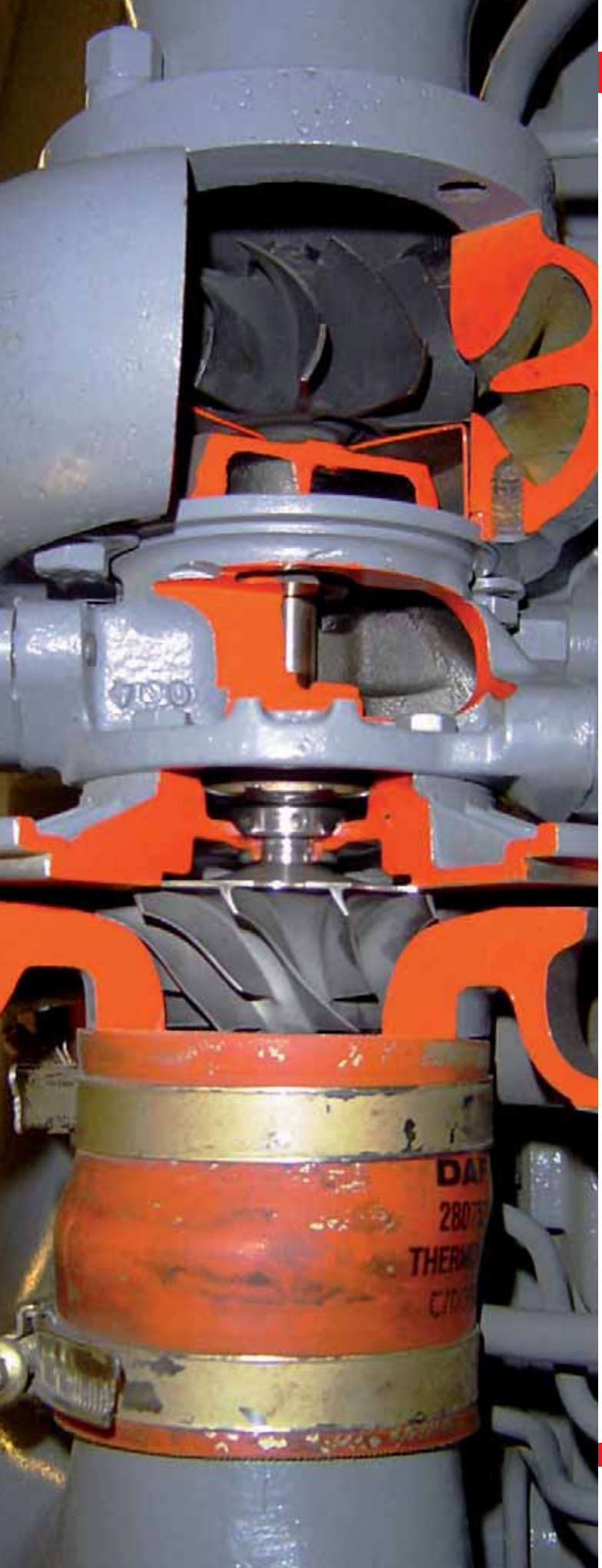
En la fabricación de válvulas las piezas en bruto se obtienen por recalcado eléctrico o forjado en caliente y se mecanizan posteriormente. El vástago se fabrica con acero martensítico, muy resistente al desgaste, y se le da un baño de cromo para reducir su rugosidad, posteriormente se aplican tratamientos térmicos como el temple y revenido, además de aplicarles una soldadura de aleación dura en la cola de la válvula para aumentar su resistencia al desgaste. Las escotaduras de las chavetas del vástago, para reducir su fatiga, posteriormente reciben un temple por inducción. La cabeza se fabrica de acero austenítico para las válvulas de escape, por su alta resistencia térmica, y martensítico para las de admisión, son tratadas a posteriori térmicamente mediante temple y revenido. Los asientos además son revestidos con metal duro que disminuye la corrosión, alarga la vida de estos y evita que se quemen. En el material que se usa para revestir el asiento de la válvula se usan aleaciones con muy poco o nada de hierro para evitar la corrosión térmica. El vástago se suelda a la cabeza mediante soldadura por fricción.

Algunas válvulas de escape para aumentar su disipación térmica son huecas en el vástago. Este hueco se rellena en un 60 por 100 de sodio metálico. El sodio se introduce por un hueco que queda practicado en la cabeza de la válvula, una vez rellena se tapa con un tapón metálico del mismo material que la cabeza y se suelda por resistencia. Estas válvulas tienen el inconveniente de disminuir la resistencia del vástago, pues queda como un tubo, en vez de macizo.

Las válvulas al estar tan solicitadas son los elementos que más averías pueden sufrir dentro de la distribución. Pero aún así, si los materiales, procesos de fabricación y condiciones de trabajo dentro del motor son los correctos no tienen por qué sufrir daños. El origen de las averías más frecuentes puede ser:

- **Sobrecargas térmicas o mecánicas.** Las altas temperaturas en la cámara de combustión producen una alta corrosión química en las válvulas, sobre todo en las de escape. Sin embargo, las sobrecargas mecánicas afectan tanto a las válvulas de admisión como a las de escape. Estas sobrecargas pueden producir en las válvulas roturas en distintas partes, fusiones de material, rehundido del asiento, picaduras del asiento por corrosión, corrosión térmica del cuello de la válvula, etc. Las roturas típicas en válvulas suelen ocurrir en la zona de transición entre el vástago y el cuello, pues es la zona más solicitada térmica y mecánicamente, y en la zona del extremo del vástago, en la zona de las chavetas. Una sobrecarga térmica también puede producir la fusión de las paredes de las válvulas huecas, haciendo que salga el sodio que la refrigeraba, produciendo un aumento mayor de la temperatura de la válvula. El juego entre la guía y el vástago debe ser el correcto, pues un juego inferior producirá un desgaste importante por mayor rozamiento y falta de lubricación, sin embargo, un juego superior al correcto produce un consumo de aceite que acumula barniz y carbonilla en el vástago, que a la larga impedirán el buen deslizamiento de la válvula dentro de la guía. Si la guía no está centrada con el asiento, al producir un efecto de flexión de la cabeza respecto del vástago puede llegar a partir ésta o producir rozamientos importantes entre guía y vástago.
- **Funcionamiento defectuoso del tren de válvulas.** Un mal ataque del balancín sobre la cola de la válvula lo deteriorará. Un exceso de rotación de las válvulas produce desgastes en la cola de la válvula y en su asiento. Un defecto de rotación produce sobrecalentamiento de alguna zona del asiento de la válvula, produciendo su quemado posterior. El juego de válvulas incorrecto también produce averías Si hay un exceso de juego, por el golpeteo del balancín, se produce desgaste en la cola de la válvula. En el asiento se producen quemaduras o fusiones, si hay falta de juego, al quedar la válvula parcialmente abierta y no disipar bien el calor al asiento de la culata.
- **Influencia de los hidrocarburos.** Los combustible y los lubricantes llevan azufre que produce corrosión en vástagos, guías, asientos, etc.

En algunos motores se usan válvulas de titanio, de alta resistencia y peso muy bajo, no debiendo ser sustituidas nunca por otras válvulas idénticas pero de otro material, pues se pierden prestaciones al no conseguir llenar o vaciar bien el cilindro por ser más pesadas y tener más inercias, no trabajando bien los muelles de válvula por el exceso de peso.



unidad 12

# Mejora del rendimiento volumétrico de los motores

## SUMARIO

- Colectores de geometría variable
- Distribuciones multiválvulas
- Distribuciones variables
- Sobrealimentación

## OBJETIVOS

- Conocer las distintas formas de mejorar la potencia en los motores.
- Comprender que el modo más viable de aumentar la potencia es mejorando el rendimiento volumétrico.
- Aprender las distintas opciones que existen de aumentar el rendimiento volumétrico.
- Despertar la inquietud por los conocimientos más avanzados de los motores.

## 1 >> Introducción a la mejora del $R_v$

Los objetivos prioritarios para los diseñadores de motores en la actualidad son los siguientes:

– Conseguir mayores potencias.
– Reducir el consumo.
– Disminuir la contaminación.
– Aumentar la fiabilidad.
– Confort de marcha.

Atendiendo a la fórmula de la potencia (P):

$$P = M \cdot n$$

Donde M: par
n: velocidad de giro del motor

Se observa que aumentando el par o las revoluciones también aumenta la potencia del motor.

### Aumento de revoluciones para conseguir mayor potencia

El número de revoluciones máximo de un motor está condicionado por tres factores principales:

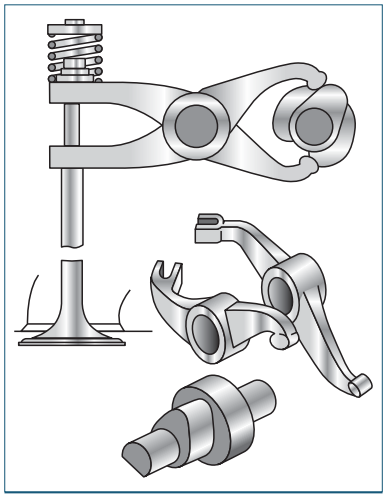
1. **Momentos de inercia.** Aumentan cuando suben las revoluciones. Para disminuirlos se hacen motores pequeños, muy ligeros y muy bien equilibrados. Los momentos de inercia pueden llegar a gastar un motor rápidamente e incluso llevarlo a su destrucción.
2. **Rebotes de las válvulas en el sistema de distribución.** Si las válvulas abren y cierran de forma demasiado rápida puede ocurrir que la resonancia del muelle se acople a la frecuencia de apertura, entonces el muelle, una vez comprimido por la leva, no tiene tiempo físico para descomprimirse y cerrar la válvula, quedando esta abierta, produciéndose fugas y posibles averías. Para evitar esto se pueden colocar varios muelles del material apropiado para que su resonancia no coincida con la frecuencia de apertura de las válvulas.
3. **Lubricación entre el pistón y el cilindro.** Esta lubricación es de tipo semifluida bastante crítica. Al aumentar la velocidad media del pistón es más fácil que se rompa la película de aceite y se produzca un gripaje. Para evitar esto, en la actualidad, se utilizan aceites de síntesis de gran calidad, con cadenas de hidrocarburos muy largas que evitan en mayor medida la ruptura de la película, además de colocar inyectores que proyectan aceite que ayuda a lubricar y refrigerar.

Los factores anteriores pueden reducir la fiabilidad del motor, por tanto, no es el camino más indicado para conseguir el aumento de potencia.

Aumentar la potencia subiendo las revoluciones del motor crea motores poco elásticos que a bajas revoluciones tienen poco par, por lo que deben rodar a altas revoluciones para subsanarlo, aumentando el consumo y la contaminación. Esto también produce una pérdida de elasticidad haciendo que la conducción tenga menor confort de marcha.

### Distribución desmodrómica

Una solución a los problemas que plantean los muelles al subir mucho los motores de revoluciones se puede suplir con las distribuciones desmodrómicas (figura 12.1), pues no llevan muelle para cerrar las válvulas. Constan de dos levas por válvula y dos balancines. Una leva y un balancín son para abrir la válvula y la otra leva y otro balancín son para cerrarla. La leva normal es la encargada de la apertura de la válvula y la otra se encarga del cierre. Se dice que van conjugadas porque sus perfiles hacen que cuando actúa una, no actúe la otra y viceversa.



**12.1.** Distribución desmodrómica.

### Aumento de par para conseguir mayor potencia

Podemos conseguir mayor par de tres formas diferentes:

– **Aumentando la cilindrada.** Se consigue un par más alto y, por consiguiente, más potencia; pero también se incrementa el tamaño, el peso, el consumo y la contaminación.
– **Incrementando la relación de compresión ($R_c$).** Es uno de los mejores caminos para aumentar la potencia porque sube la presión en la cámara y, por tanto, el par. No hay más consumo al tener la misma cantidad de combustible, pero presenta el inconveniente de tener el límite que le impone la detonación. En la actualidad, los motores ya han explotado esta posibilidad al máximo, haciendo cámaras muy estudiadas, con longitudes muy cortas desde la bujía hasta el final de la cámara, aumentando mucho la turbulencia, etc. Todo ello está pensado para lograr más eficiencia y reducir la detonación. También en los encendidos se colocan sensores de detonación, que al detectarla retrasan el encendido varios grados y van restableciendo el avance lentamente; además se puede hacer en cada cilindro individualmente, estando así los motores actuales al límite de la detonación pero sin que se ocasione desperfectos al motor. Debido al límite de la detonación, los aumentos de potencia conseguidos con el incremento de la relación de compresión no son muy importantes.
– **Aumentando el rendimiento volumétrico.** Al haber mayor cantidad de mezcla, esta empuja con mayor fuerza la cabeza del pistón, incrementando el par y, por consiguiente, la potencia. De esta forma, se consigue mayor potencia teniendo unos consumos muy contenidos y la contaminación muy limitada, por lo que actualmente es la forma más habitual de conseguir aumentos de potencia. Además, el incremento de potencia puede ser bastante importante, dependiendo sobre todo de cómo se consiga. El aumento de rendimiento volumétrico se puede conseguir mediante:
  - Colectores de geometría variable.
  - Distribuciones multiválvulas.
  - Distribuciones variables.
  - Sobrealimentación.

En realidad, con las distribuciones multiválvulas y la sobrealimentación se mejora el rendimiento volumétrico para aumentar la potencia, pero solo a altas revoluciones. A bajas revoluciones, habrá menos par y menos potencia que sin estos sistemas que mejoran la carga a altos regímenes. Aquí es donde entran en juego los colectores de geometría variable y las distribuciones variables que permiten un alto rendimiento volumétrico a altas revoluciones para obtener más potencia a bajas revoluciones, con lo que se obtiene un buen par sin tener que sacrificar la elasticidad del motor en pro de una alta potencia máxima.

> **El aumento del rendimiento volumétrico es la mejor forma de mejorar la potencia sin elevar excesivamente el consumo y la contaminación y, además, sin comprometer la fiabilidad del motor.**

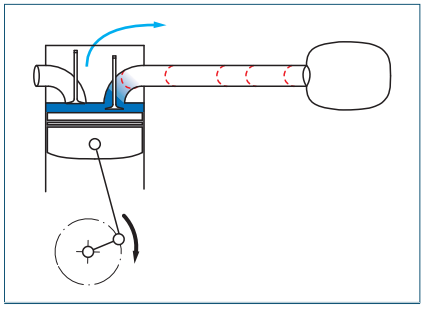
A lo largo de esta unidad didáctica se va a tratar con detenimiento los diferentes métodos que existen para incrementar el rendimiento volumétrico en los motores.

## 2 >> Colectores de geometría variable

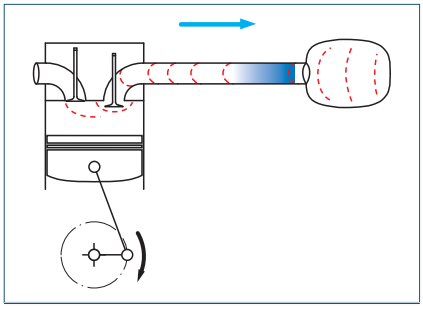
**Los colectores de geometría variable basan su funcionamiento en la sobrealimentación producida al aprovechar la resonancia o reverberación en el colector de admisión. El fenómeno de la resonancia consiste en que al hacer la admisión en los colectores se crean ondas de presión y depresión que viajan a la velocidad del sonido y se aprovechan para aumentar la presión y el llenado.**

Si el colector no está bien estudiado, habrá momentos en que esas ondas no solo no ayuden, sino que empeoren el llenado. A la entrada de los colectores de admisión se coloca un ensanchamiento llamado **resonador o tubo colectivo**, y así aprovechamos el fenómeno de la resonancia.

Cuando se abre la válvula de admisión y el pistón desciende se crea una depresión que se transmite al colector de admisión, haciendo que se introduzca una columna de aire por la depresión, creando una resonancia, representada en la figura 12.2 como una onda depresiva, y se propaga por el colector de admisión en dirección contraria a la columna de aire que hace el llenado hacia el resonador (figura 12.3).



**12.2.** Inicio de la onda depresiva desde el cilindro.

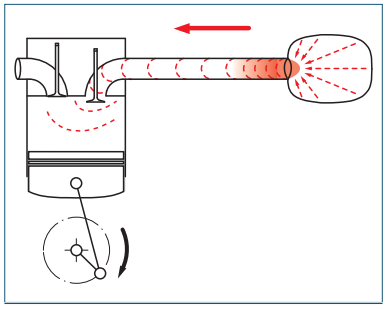


**12.3.** Llegada de la onda depresiva al resonador.

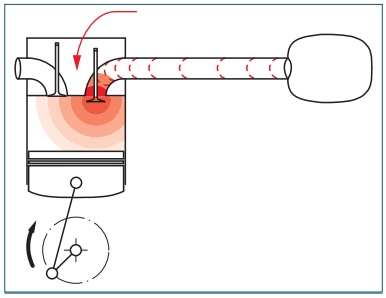
La presión que hay en el resonador es aproximadamente la presión atmosférica y cuando la onda depresiva llega a la unión del colector con el resonador, donde se encuentra con aire a una presión bastante mayor, este aire empuja fuertemente para compensar la onda depresiva que acaba de llegar (figura 12.4), creando una onda compresiva, a una presión mayor que la atmosférica, en sentido contrario de la onda depresiva, para compensarla y en el mismo sentido que la columna de aire, reforzándola al aumentar su presión.

Esta onda expansiva empuja el aire a presión hacia el cilindro, atravesando la válvula de admisión (figura 12.5) hasta que la presión, dentro del cilindro y antes de la válvula están igualadas, momento en el cual debería cerrar la válvula de admisión. Este aprovechamiento permite tener llenados con presiones iguales a la atmosférica e incluso ligeramente superiores. Las ondas recorren el colector de admisión en los dos sentidos a la velocidad del sonido. El tiempo que las ondas tardan en recorrer el colector de admisión, si este tiene una longitud fija (figura 12.6) es siempre el mismo.

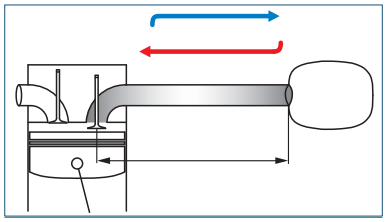
$$t = \frac{\text{longitud del colector}}{\text{velocidad del sonido}}$$



**12.4.** Creación de la onda compresiva desde el resonador.



**12.5.** Llegada de la onda compresiva a la válvula de admisión.



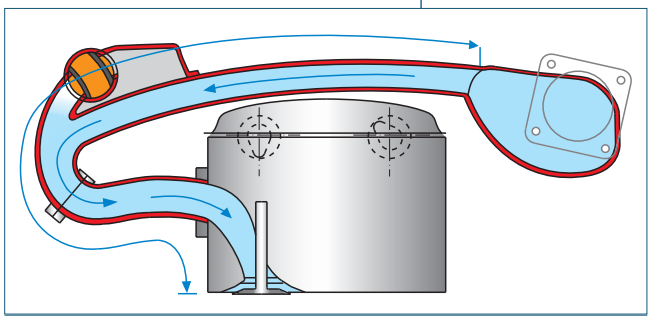
**12.6.** Longitud del colector de admisión.

En un colector con longitud adecuada para funcionar a regímenes medios, cuando el motor sube sus revoluciones, la válvula de admisión se mantiene menos tiempo abierta y cuando llega la onda compresiva para hacer la sobrealimentación, la válvula ya está cerrada. Si la longitud del colector es fija, se aprovecha la resonancia solo a determinados regímenes.

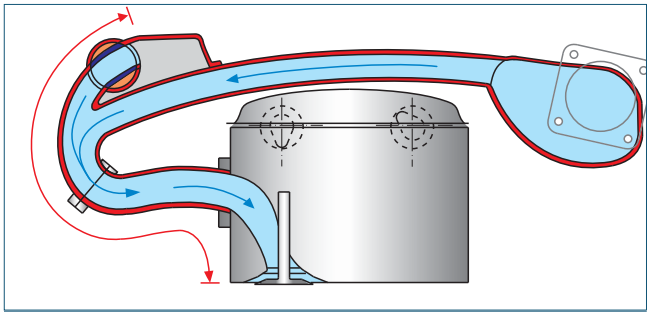
Por este motivo, conviene hacer un colector de admisión con longitudes distintas:

– Una larga para bajos regímenes (figura 12.7) porque hay más tiempo para aprovechar la resonancia.
– Una corta para altos regímenes (figura 12.8). Se puede conseguir una alta entrega de par a bajos regímenes, usando colectores de admisión largos; y una alta entrega de potencia a altos regímenes, usando colectores de admisión cortos.

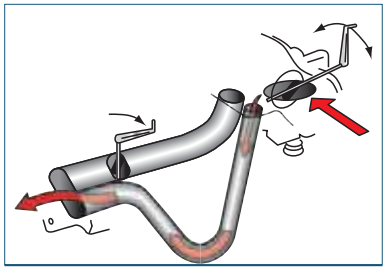
En este sistema se ve cómo varía la longitud de los colectores pero la sección se mantiene invariable.



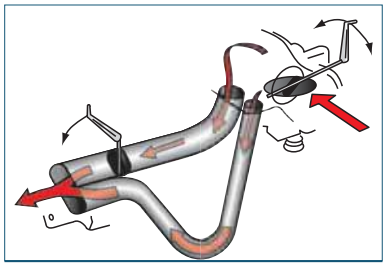
**12.7.** Colector de geometría variable para entrega de par.



**12.8.** Colector de geometría variable para entrega de potencia.



**12.9.** Colectores con poca sección y gran longitud para entrega de par.



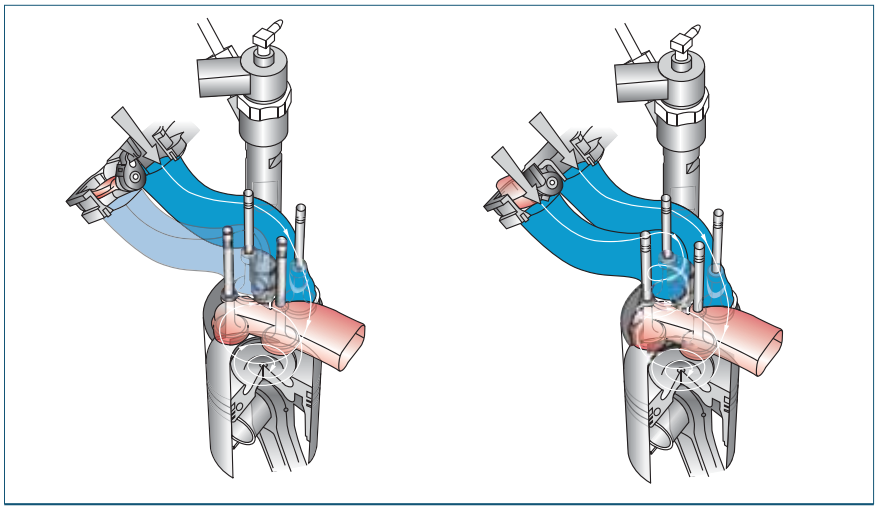
**12.10.** Colectores con gran sección y poca longitud para entrega de potencia.

Además de las longitudes se puede variar la sección de los colectores. Los colectores con pequeña sección consiguen alta velocidad del gas, lo que aumenta la turbulencia. Esto es bueno a bajos regímenes porque no hay mucho caudal de llenado, pero a altas revoluciones y grandes llenados interesa que los colectores tengan mayor sección para evitar caídas de presión al estar el fluido en movimiento.

Los colectores de geometría variable se basan en diseñar los conductos de admisión de tal forma que entre en la cámara la mayor cantidad de aire posible a cualquier número de revoluciones y con la mayor turbulencia posible. Para ello, para conseguir mayor par a bajas revoluciones se introduce el aire a través de un conducto de menor sección y mayor longitud (figura 12.9) para aumentar así su presión, velocidad y turbulencia en la cámara. Para conseguir más potencia a altas revoluciones se debe introducir el aire a través de conductos de menor longitud y de mayor sección (figura 12.10) que no produzcan tanta caída de presión al aumentar la masa de aire que entra al haber más revoluciones.

Hay veces que solo se varía la sección de los colectores. Para ello se recurre a una mariposa en uno de los dos conductos de admisión que abre y cierra el paso de gases frescos a una de las dos válvulas, permaneciendo

cerrada a bajas revoluciones, para conseguir buena entrega de par, y abierta a altas revoluciones para conseguir buena entrega de potencia (figura 12.11).

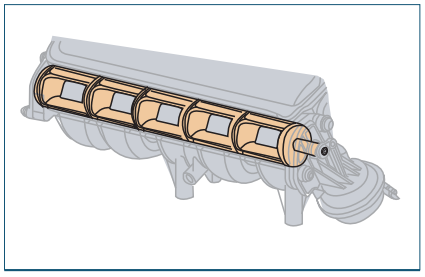


**12.11.** Admisión variable con variación de sección.

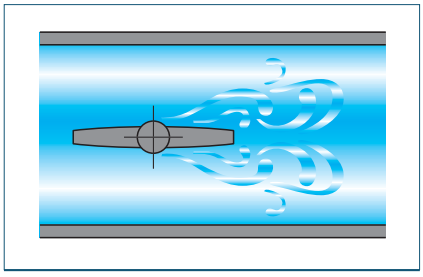
Generalmente, la conexión y desconexión de los distintos colectores se realiza a través de unas mariposas auxiliares (figura 12.12), accionadas por una cápsula de vacío. Las cápsulas de vacío se activan a través de electroválvulas neumáticas controladas por una centralita electrónica, generalmente la de gestión del motor, en función de las revoluciones del motor y de la carga entre otros parámetros.

Otras veces, en lugar de mariposas se emplea un cilindro distribuidor giratorio (figura 12.13), que en función de cómo se sitúe permite que entre aire solo por el colector más largo o por los dos. Este último permite que no haya caídas de presión y que el régimen sea laminar, y así poder evitar la pequeña turbulencia que se crea detrás de la mariposa en los otros sistemas (figuras 12.14 y 12.15), al representar esta una pequeña obstrucción dentro del colector.

Dentro de las diferentes formas que existen para aumentar el rendimiento volumétrico de un motor, los colectores de geometría variable es de las menos efectivas, pero la mejora que produce se puede sumar a la de una distribución variable e incluso a un sistema de sobrealimentación.



**12.13.** Cilindro distribuidor giratorio.

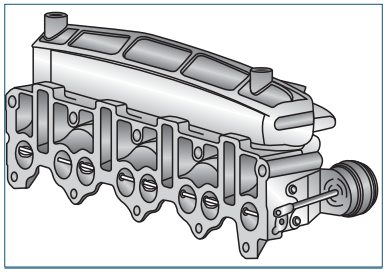


**12.14.** Régimen turbulento con mariposa.

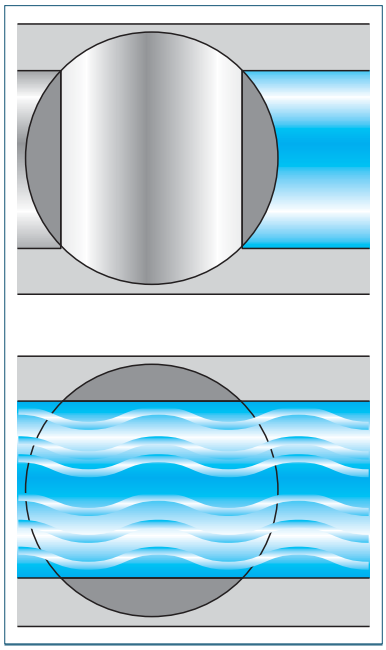
### Régimen laminar y turbulento

Un régimen laminar de un fluido que atraviesa una tubería sería aquel en el que todas las partículas de dicho fluido describen una trayectoria paralela a las paredes de la tubería, existiendo baja pérdida de carga o caída de presión.

Régimen turbulento de un fluido que atraviesa una tubería sería en el que las partículas describen una trayectoria no paralela a las paredes de la tubería, es decir, se arremolinan provocando una alta pérdida de carga o caída de presión.



**12.12.** Mariposas auxiliares y cápsula de vacío.



**12.15.** Régimen laminar con eje conmutador.

## 3 >> Distribuciones multiválvulas

**12.16.** Cuatro válvulas por cilindro.

Los motores con distribuciones multiválvulas incrementan su potencia notablemente sin aumentar el consumo específico, e incluso, llegan a reducir la contaminación debido a que consiguen mayores turbulencias dentro de la cámara. Sin embargo, los motores multiválvulas convencionales obtienen potencias importantes pero no tienen elasticidad y, a bajas revoluciones, denotan una importante falta de par. Luego mejoran el rendimiento volumétrico a altas revoluciones pero necesitan solucionar su bajo rendimiento volumétrico a bajas vueltas para que haya buena entrega de par y que el motor sea elástico. La solución es combinar los sistemas multiválvulas con otros como los de distribución variable o colectores de geometría variable.

Al crecer el número de válvulas por cilindro se aumenta la sección de entrada y salida de gases, disminuyendo el rozamiento del aire con el colector de admisión y a la entrada de las válvulas y, por tanto, disminuyen las caídas de presión al estar la columna de aire en movimiento, consiguiendo alimentar al cilindro con mayor presión y volumen que en un motor de dos válvulas por cilindro.

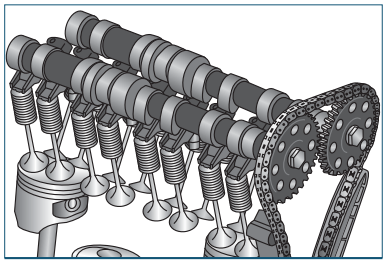
**12.17.** Cinco válvulas por cilindro.

Para aprovechar la superficie de la cámara de combustión, se colocan más válvulas en la culata y se disminuye el tamaño de estas, siendo más ligeras. Reducir el tamaño y el peso de las válvulas reduce las inercias. Así, se pueden colocar muelles más flojos que antes y además refrigeran mejor las válvulas. Como contrapartida se complica el diseño y encarece la fabricación de dichas culatas.

Los motores multiválvulas más habituales son los de cuatro válvulas por cilindro (figura 12.16), dos de admisión y dos de escape.

También se hacen motores con un número impar de válvulas, tres o cinco; siendo el de tres algo más habitual que el de cinco. El de cinco válvulas por cilindro (figura 12.17) obtiene una relación entre la sección de válvulas y la sección de cilindro más óptima; además, se consigue el mejor llenado. De todos modos, estas culatas son más costosas de fabricar y se usan muy poco.

Si el número de válvulas es impar, hay más válvulas de admisión que de escape; si el número de válvulas es par, el número de válvulas de admisión y de escape coincide, pero las de admisión serán de mayor sección que las de escape. Esta diferencia de sección es debida a que llenar el cilindro es más complicado porque se realiza a presiones próximas a la presión atmosférica, mientras que para el vaciado del cilindro las presiones son muy elevadas. Los motores con cilindros de cuatro o cinco válvulas permiten que la bujía se sitúe en el centro de la cámara y el frente de llama presenta un recorrido relativamente corto.



**12.18.** Doble árbol de levas en cabeza para accionar las válvulas.

Lo habitual en culatas de cuatro o cinco válvulas es contar con dos árboles de levas en cabeza: uno para la admisión y otro para el escape, quedando una cámara bastante compacta con un ángulo que depende de la inclinación de las válvulas, que permite tener mayor turbulencia (figura 12.18).

Todo esto redunda en un rendimiento más alto con mayor par, menos consumo y una disminución de la contaminación.

## 4 >> Distribuciones variables

**Una distribución variable modifica las cotas de apertura y cierre de las válvulas y su alzada, para elegir las más adecuadas al motor en cada momento de su funcionamiento.**

Cuando se diseña una distribución fija se busca tener buen par y potencia a altas y bajas revoluciones, para hacer un motor elástico. De esta forma no se consigue la máxima potencia que podría desarrollar el motor, porque se quedaría sin par a bajas vueltas. Tampoco se obtiene un buen par a bajas vueltas para hacer un motor elástico y progresivo, porque no obtendría una buena potencia máxima.

Una distribución variable consiste en tener diferentes diagramas de distribución y diferentes alzadas de válvulas, según convenga en cada momento. Esto se puede conseguir de dos formas:

– Desfasando los árboles de levas: esta es la forma más habitual por ser la más sencilla y económica.
– Variando además el grado de apertura de las válvulas: este sistema es el que mayor rendimiento volumétrico consigue pero el menos implantado por ser muy sofisticado y costoso.

Las variaciones se pueden realizar solamente en el árbol de levas de admisión, siendo estas distribuciones más sencillas; o bien en los dos árboles de levas. Además estas variaciones de fase o de grado de apertura pueden ser:

– Básicas, existiendo dos posiciones únicamente.
– Proporcionales, existiendo numerosas posiciones intermedias. Estas distribuciones son mucho más sofisticadas.

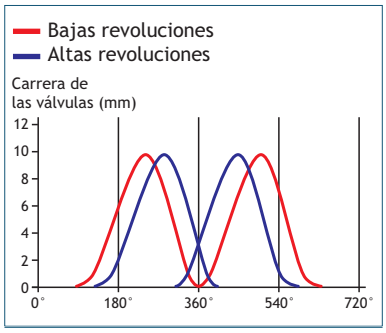
| | |
|---|---|
| Distribuciones variables | Variando la fase del árbol de levas |
| | Variando alzada de las válvulas |
| | Variando alzada de las válvulas + variando la fase del árbol de levas |

### 4.1 > Variadores de fase del árbol de levas

Este tipo de distribución variable consiste en desfasar el árbol de levas respecto de su piñón de accionamiento. Presenta un tiempo de apertura de válvulas igual, es decir, que si abre antes una válvula cerrará antes también, y tiene una misma alzada de válvulas.

Lo más habitual en una distribución es tener un avance de apertura de admisión (AAA) y un retraso de cierre de admisión (RCA) para las válvulas de admisión; un avance de apertura de escape (AAE) y un retraso de cierre de escape (RCE) para las válvulas de escape. Esto es así, sobre todo en distribuciones fijas, porque en realidad lo ideal a ralentí y en arranque sería tener un retraso de apertura de admisión (RAA) o, lo que es lo mismo, un AAA negativo.

Con un variador de fase básico se obtienen dos diagramas de distribución (figura 12.19).




**12.19.** Diagrama de una distribución variable.

## Casos prácticos

### Cálculo del ángulo total de apertura de la válvula de admisión

•• Calcula el ángulo total de apertura de las válvulas de admisión de un motor de geometría variable en su máximo y mínimo desfase, sabiendo que entre ellos hay una diferencia de 50° y que el AAA y el RCA con el máximo desfase son de 45° y 10°, respectivamente.

**Solución** •• Ángulo total de apertura de admisión:

$$AAA + 180^\circ + RCA \text{ ó } RAA + 180^\circ + RCA$$

Ángulo total de apertura de admisión con el máximo desfase:

$$AAA + 180^\circ + RCA = 45^\circ + 180^\circ + 10^\circ = 235^\circ$$

Con el mínimo desfase tendremos un AAA de $45^\circ - 50^\circ = -5^\circ$, o lo que es lo mismo un RAA de 5° y un RCA de $10^\circ + 50^\circ = 60^\circ$, luego:

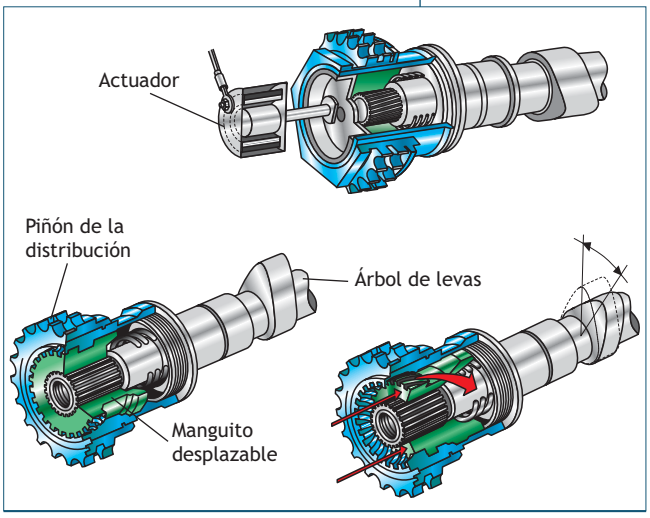
El ángulo total de apertura de admisión con el mínimo desfase:

$$RAA + 180^\circ + RCA = -5^\circ + 180^\circ + 60^\circ = 235^\circ$$

Por tanto ha variado el momento en que abren y cierran las válvulas de admisión pero que no ha variado el ángulo.

Las distribuciones pueden realizar este desfase solo en el árbol de levas de admisión o en el de escape también y puede hacerse que se posicione en dos puntos, creando dos diagramas de distribución solamente, esto sería una distribución básica, o que se posicione en distintos puntos intermedios entre el máximo y el mínimo, siendo esta una distribución proporcional.

Generalmente, proporcionan a medios y altos regímenes de revoluciones un aumento del cruce de válvulas y a bajas revoluciones, ralentí y arranque una disminución del cruce de válvulas.




**12.20.** Variador de fase por engranaje helicoidal.

Existen los siguientes tipos de variadores de fase:

– Variadores de fase por engranaje helicoidal.
– Variadores de fase tipo variocam.
– Variadores de fase celulares de aletas.

#### Variadores de fase por engranaje helicoidal

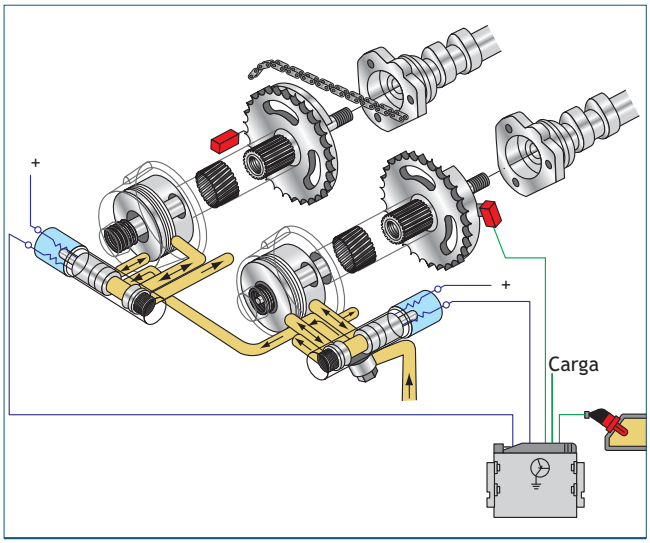
**Los variadores de fase por engranaje helicoidal desfasan el árbol de levas respecto de su piñón de accionamiento, que es movido por el cigüeñal a través de un engranaje helicoidal.**

Están formados por los siguientes elementos:

– Un actuador electrohidráulico o electromagnético controlado por la centralita de gestión del motor.
– El árbol de levas con dentado recto exterior en su extremo (figura 12.20).

– El piñón de la distribución con un dentado helicoidal interior.
– Un manguito desplazable de torsión con un dentado helicoidal exterior que engrana con el del piñón y un dentado recto interior que engrana en el del árbol de levas.

El manguito en reposo permanece en su punto más alejado del árbol de levas empujado por un muelle. El actuador electrohidráulico manda presión de aceite al manguito cuando la centralita lo ordena, lo que produce un empuje que lo desplaza axialmente hacia el árbol de levas, comprimiendo el muelle y provocando un desfase angular de este y del árbol de levas respecto del piñón de accionamiento. Cuando la presión desaparece el muelle empuja al manguito a su punto más alejado del árbol de levas, recuperando el desfase realizado cuando se desplazaba en sentido contrario.




**12.21.** Accionamiento de los variadores de fase proporcionales en admisión y escape.

Los perfiles y la alzada de las válvulas no se modifican. Se pueden hacer básicos o proporcionales y colocarse en el árbol de levas de admisión y en el de escape; aunque suele ser sólo en el de admisión porque en el escape no se obtiene una gran ventaja en el rendimiento volumétrico.

La regulación del actuador electrohidráulico la realiza la centralita electrónica del motor (figura 12.21) basándose en las informaciones de revoluciones del motor, en la carga, temperatura del motor y del aceite y de la posición del árbol de levas. Este último solo si es de tipo proporcional.

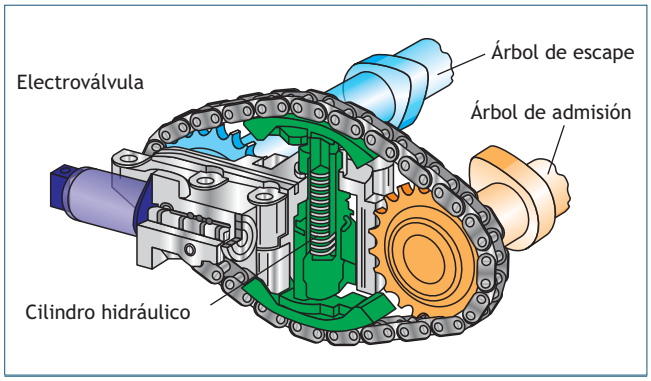
La estrategia de funcionamiento está memorizada en la centralita y suele ser la siguiente:

– En el arranque, en ralentí y a bajas revoluciones, aproximadamente hasta unas 2 000 rpm, el árbol de levas es atrasado con poco o ningún cruce de válvulas, resultando una gran elasticidad en el motor debido al gran par y a la suavidad en el funcionamiento.
– A revoluciones intermedias, aproximadamente entre 2 000 y 5 000 rpm, el árbol de levas es adelantado con el máximo cruce de válvulas posible para conseguir un mejor llenado, un mayor par y más potencia.
– Con altas revoluciones, aproximadamente entre 5 000 y tope de régimen, el árbol de levas es atrasado para conseguir una potencia elevada, pues a estas revoluciones los gases entran a gran velocidad y lo que interesa es aumentar el RCA para aprovechar su inercia.

Las revoluciones indicadas son aproximadas, dependen del fabricante, del tipo de motor y dentro de un mismo motor también varían en función de la carga. El árbol de levas se puede desfasar en torno a 40 ó 50°, dependiendo del fabricante.

### Variadores de fase tipo *variocam*

**Los variadores de fase tipo *variocam* desfasan el árbol de levas de admisión respecto al de escape, siendo este último el que va sincronizado con el cigüeñal y el que acciona el de admisión.**

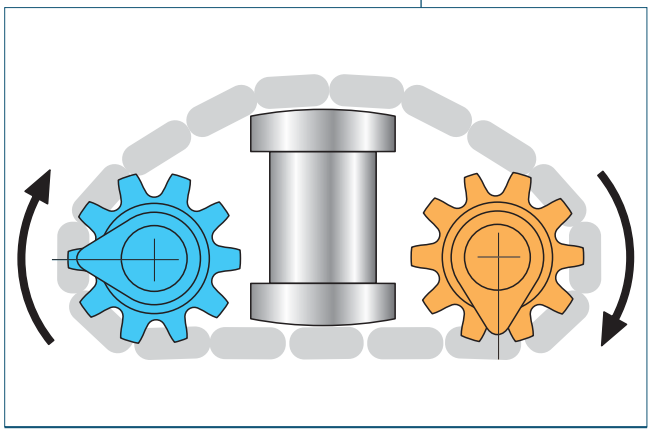



**12.22.** Distribución variable tipo variocam.

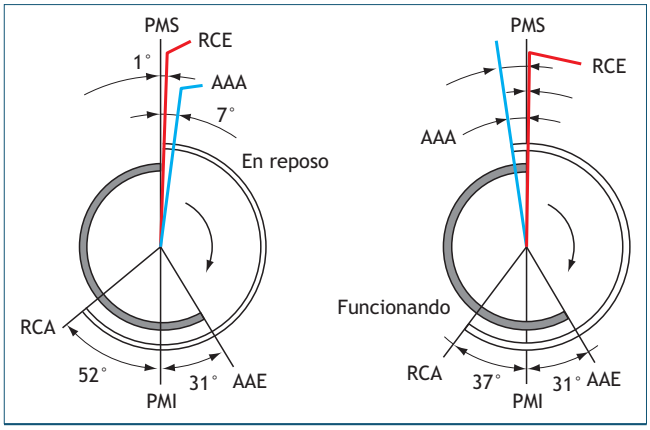
El accionamiento del árbol de levas de admisión se hace desde el árbol de levas de escape a través de una cadena (figura 12.22) que apoya en dos patines que se pueden desplazar simultáneamente, tensando o destensando la cadena a través de un pistón regido por una electroválvula de control, que actúa dejando pasar presión de aceite, en función de lo que diga la centralita de gestión del motor, haciendo que el árbol de levas de admisión se desfase respecto del cigüeñal. El árbol de levas de escape no se puede desfasar pues va sincronizado con el cigüeñal.

La estrategia de la centralita es la siguiente:

– En la posición de entrega de potencia, a partir de 5 500 rpm, y desde ralentí hasta 1 500 rpm (figuras 12.23 y 12.24), el tramo inferior de la cadena es corto y se alarga el tramo superior. Así se retrasa el árbol de levas de admisión, consiguiendo mayor RCA y, por consiguiente, un mejor aprovechamiento de la gran velocidad de los gases de admisión.



**12.23.** Posición de entrega de potencia.

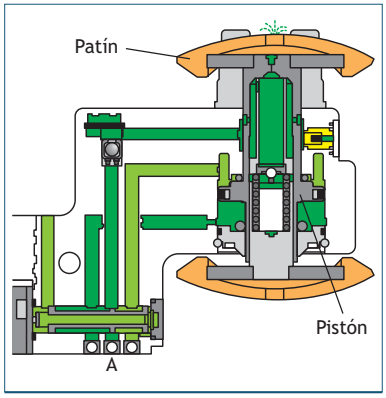



**12.24.** Diagramas de distribución para máxima potencia y máximo par.

A bajas revoluciones hay poco AAA que permite un mejor llenado y un mayor par. En la posición de reposo de la electroválvula (figura 12.25), al no haber corriente de excitación, no hay presión en la línea de control A y el muelle empuja al pistón junto con los patines hacia arriba, retrasando el árbol de levas de admisión.

– En la posición de entrega de par, desde 1 500 a 5 500 rpm (figuras 12.24 y 12.26), el tramo inferior de la cadena se alarga, acortándose el tramo superior. Así avanza el árbol de levas de admisión, consiguiendo mayor AAA y, por consiguiente, mayor cruce de válvulas para obtener más par a medias y bajas revoluciones. En la posición de activación de la electroválvula (figura 12.27), al haber corriente de excitación, existe cierta presión en la línea de control A y llega presión de aceite a la parte superior del pistón, empujándolo hacia abajo junto con los patines, a la vez que vence el muelle y avanza el árbol de levas de admisión.

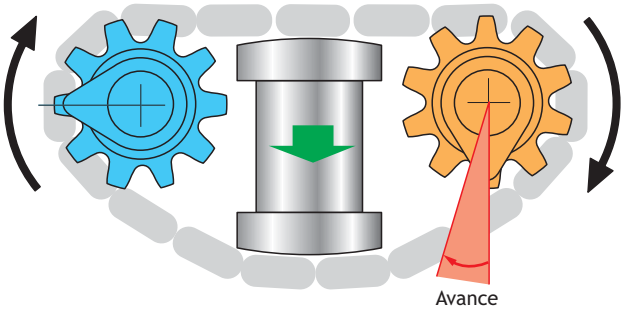
Los perfiles y la alzada de las válvulas no se modifican, ya que pueden variar el desfase en el árbol de levas de admisión.




**12.25.** Electroválvula variocam en modo retraso o entrega de potencia.

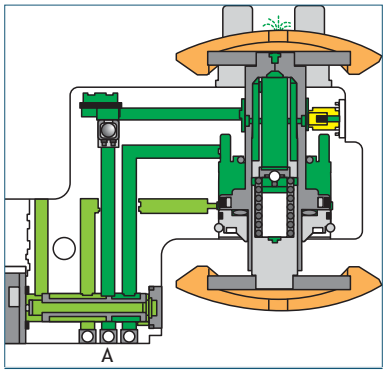
### Variadores de fase celulares de aletas

**Los variadores de fase celulares de aletas producen el desfasado de los árboles de levas a través de la presión de aceite del motor, controlada por unas electroválvulas y por la centralita de control del motor (figura 12.28), en función de las revoluciones, la carga, la posición angular del cigüeñal, la temperatura del motor y la posición angular de los árboles de levas.**



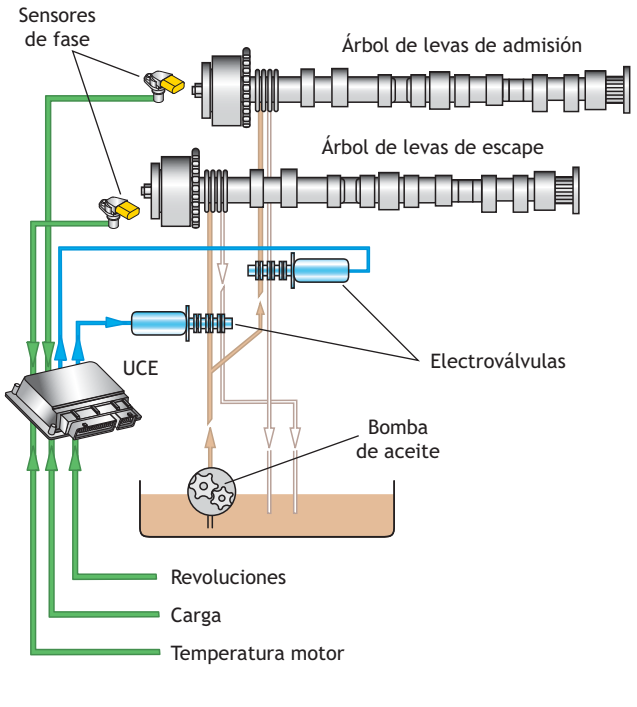

**12.26.** Posición para entrega de par.

Puede colocarse un variador en la admisión y también en el escape, si lo hacen en el árbol de levas de escape, al poder variar el diagrama, también se puede hacer una recirculación de gases de escape interna. El desfase máximo oscila en torno a los 50° para el árbol de levas de admisión y 20° para el de escape respecto del cigüeñal.

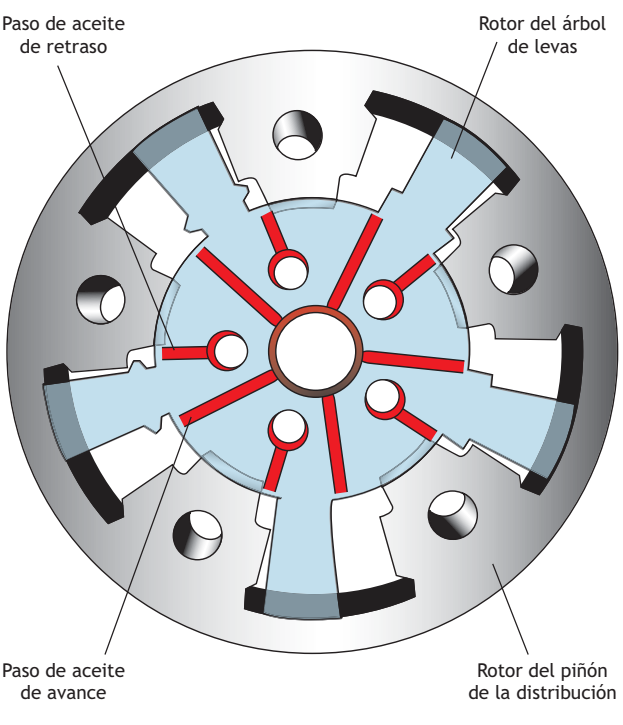



**12.27.** Electroválvula variocam en modo avance o entrega de par.

El variador de fase celular de aletas, tanto de admisión como de escape, consta de un rotor (figura 12.29) solidario al árbol de levas, que va introducido en otro rotor solidario al piñón de accionamiento de la distribución y que se pueden desfasar unos grados uno de otro, determinados por el juego que tengan las paletas en sus alojamientos, controlado por una electroválvula, y comandada, a su vez, por la centralita de gestión del motor, que controla la presión de aceite que procede del circuito de engrase. El desfase entre el piñón de accionamiento y el árbol de levas se produce haciendo llegar aceite a presión a uno u otro lado de las aletas.



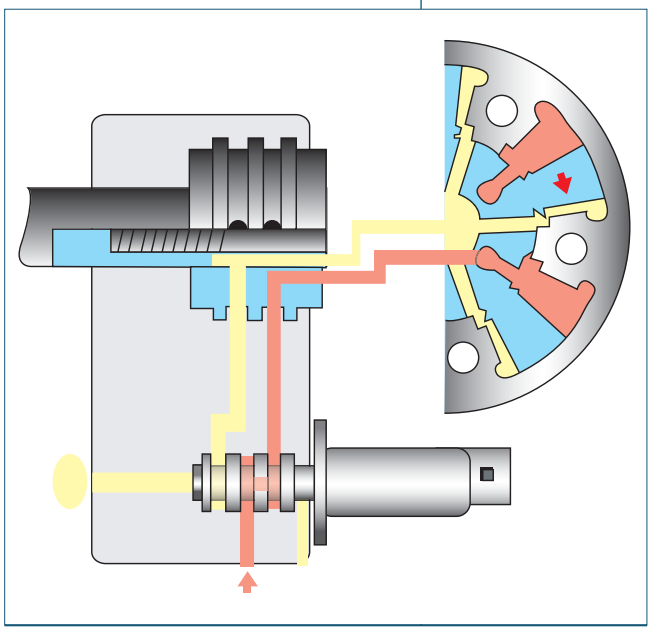

**12.28.** Esquema de funcionamiento de un variador fase celular de aletas.



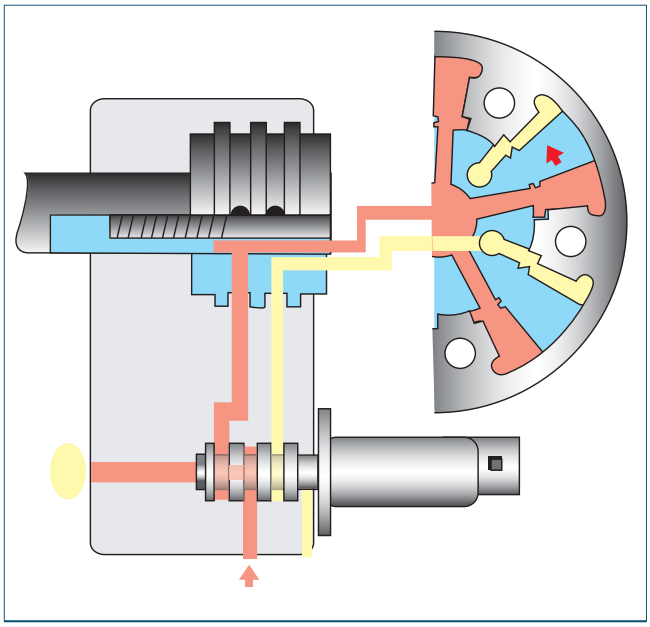

**12.29.** Constitución de un variador de fase celular de aletas.

La estrategia de la centralita de gestión de motor para los árboles de levas de admisión es la siguiente:

– Posición de avance (figura 12.30). Se utiliza para conseguir mayor entrega de par y la recirculación de gases de escape interna, al existir bastante cruce de válvulas. Al avanzar, aumenta el AAA y disminuye el RCA. Para ello la centralita activa la electroválvula y deja pasar aceite a presión al orificio de avance que atraviesa la carcasa de la distribución y el árbol de levas, pasando por varios orificios a la parte izquierda de las aletas del rotor, le hace girar en el mismo sentido que gira el árbol de levas, y le arrastra para conseguir mayor avance.
– Posición de retardo (figura 12.31). Se utiliza para conseguir mayor entrega de potencia y para regímenes de ralentí. Al retrasarse, disminuye el AAA, convirtiéndose en RAA, y aumenta el RCA. Para ello la centralita activa la electroválvula y deja paso de aceite a presión al orificio de retardo que atraviesa la carcasa de la distribución y el árbol de levas y pasa por varios orificios a la parte derecha de las aletas del rotor, haciéndole girar en sentido contrario al que gira el árbol de levas y arrastrándolo para conseguir menor avance. Al tener mayor RCA se consigue aprovechar la gran velocidad de los gases a altas revoluciones logrando una buena entrega de potencia al obtener un mejor llenado.



**12.30.** Posición de avance para la entrega de par en el árbol de levas de la admisión.



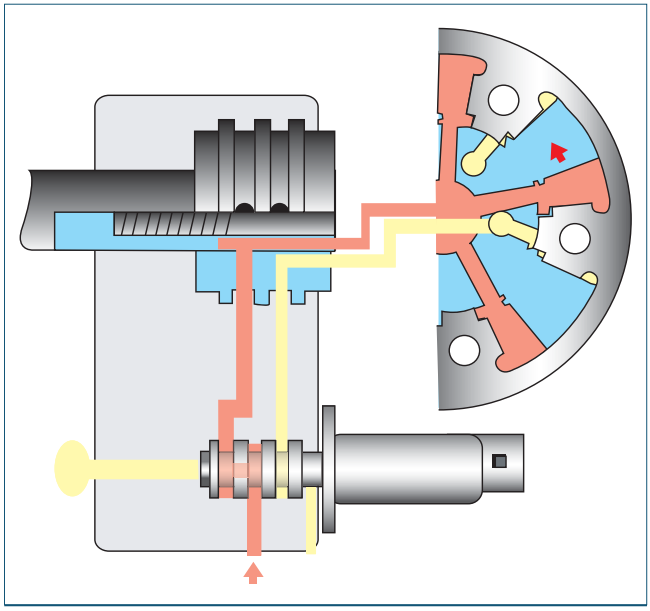
**12.31.** Posición de retardo para entrega de potencia en el árbol de levas de la admisión.

La estrategia de la centralita de gestión de motor para los árboles de levas de escape es la siguiente:

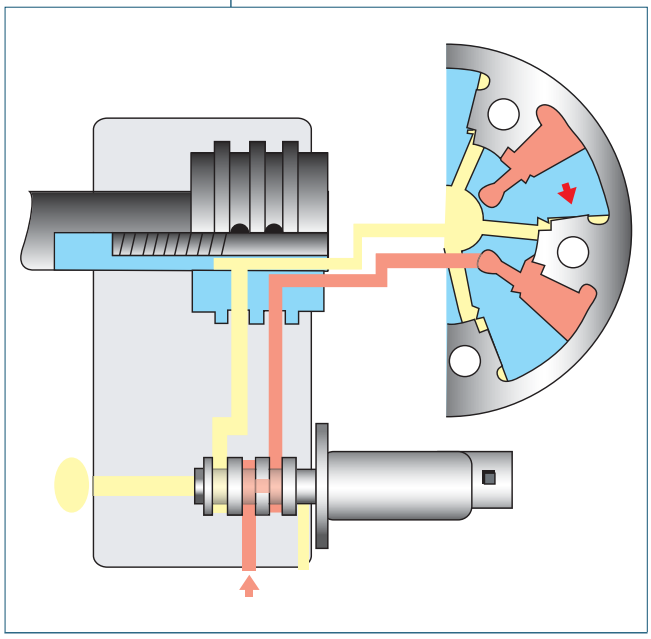
– Posición de retardo básica (figura 12.32). Se utiliza para conseguir mayor entrega de par, de potencia, arranque y recirculación de gases de escape interna, al existir bastante cruce de válvulas. En esta posición tiene el máximo retardo, disminuyendo el AAE y aumentando el RCE. Para ello, la centralita deja la válvula en reposo permitiendo paso de

aceite a presión al orificio de retardo que atraviesa la carcasa de la distribución y el árbol de levas y pasa por varios orificios a la parte derecha de las aletas del rotor, haciéndole girar en sentido contrario al que gira el árbol de levas y arrastrándolo para conseguir menor avance.

– Posición de avance para el ralentí (figura 12.33). Se utiliza para regímenes de ralentí hasta 1 200 rpm. Al avanzar aumenta el AAE y disminuye el RCE. Para ello la centralita activa la electroválvula y deja paso de aceite a presión al orificio de avance que atraviesa la carcasa de la distribución y el árbol de levas y pasa por varios orificios a la parte izquierda de las aletas del rotor, haciéndole girar en el mismo sentido que gira el árbol de levas y arrastrándolo para conseguir mayor avance.



**12.32.** Posición de retardo o básica para obtención de par en el árbol de levas de escape.



**12.33.** Posición de avance para el ralentí en el árbol de levas de escape.

## 4.2 > Variadores de alzada de las válvulas

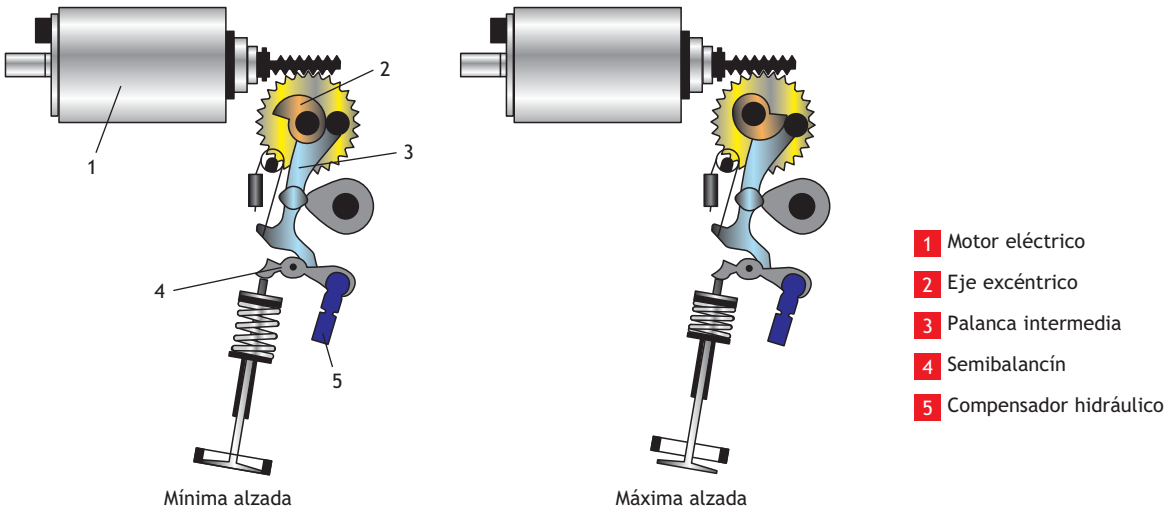
Si se modifica la alzada de las válvulas, además de variar la sección de entrada y salida de los gases también se cambian los avances y retrasos de las mismas. A pesar de esto, algunos sistemas de distribución añaden variadores de fase del árbol de levas.

### *Valvetronic*

Este sistema de accionamiento de válvulas variable hace gran parte del trabajo de la mariposa de gases. Por ello, en el colector de admisión no hay suficiente depresión para el servofreno, por lo que hay que montar una bomba de vacío para este fin.

Para conseguir tener una alzada variable se recurre a un accionamiento indirecto de las válvulas, es decir, la leva no ataca directamente al semibalancín, como es habitual, sino que lo hace a través de una pieza intermedia que, en función de su posición, un mismo ataque de leva repercute en mayor o menor alzada de la válvula.

El accionamiento (figura 12.34) usa un motor eléctrico (1), controlado por la UCE, que hace girar un eje excéntrico (2), modificando el punto de apoyo de una palanca intermedia (3), con lo que varía su altura respecto del semibalancín (4) que apoya en un extremo en un compensador hidráulico (5).




**12.34.** Constitución de una distribución valvetronic.

– **El motor eléctrico.** Cada árbol de levas lleva en su parte central un motor de corriente continua alimentado con tensión de la batería. Este motor es controlado por la centralita y tiene un tornillo sinfín que engrana en un piñón con dentado helicoidal solidario al eje excéntrico. El consumo máximo de este motor llega a los 40 A.
– **La centralita de gestión de motor.** Recibe información de las revoluciones, de la posición angular del cigüeñal, de la carga, de la temperatura del motor y de la señal de los sensores de levas excéntricas con el fin de accionar el motor eléctrico. A través de los sensores de levas excéntricas, la centralita confirma que la posición de estas se corresponde con la última señal enviada al motor eléctrico; funciona como una especie de retroalimentación para detectar averías. Si no hay concordancia en las señales enviadas al motor y en la posición de las levas excéntricas, la centralita desactiva el motor y activa la mariposa de gases a la vez que enciende el testigo de avería.
– **Eje excéntrico.** Recibe el movimiento a través de un engranaje helicoidal que engrana con el sinfín del motor para variar el punto de apoyo superior de la palanca intermedia. Lleva en un extremo un disco magnético donde el sensor va a medir para darle la posición precisa a la centralita.
– **Palanca intermedia.** Es una palanca que en su parte superior lleva un rodillo que apoya en el eje excéntrico, en la parte central tiene otro rodillo donde atacará la leva y en la parte inferior presenta una zona cuyo perfil tiene forma de rampa con la que apoyará en el balancín para abrir la válvula. Esta palanca lleva un muelle de recuperación.

– **Semibalancín y compensador hidráulico.** Es similar a los utilizados en otros motores; por un extremo actúa sobre la válvula para comprimir el muelle y abrir la válvula, según actúe la palanca intermedia sobre un rodillo central que lleva, y en el otro extremo del semibalancín apoya sobre un compensador hidráulico, semejante a los usados en otros motores.
– **Sensor de la leva excéntrica.** Se usa para que la centralita de gestión de motor conozca en todo momento si las levas excéntricas están en la posición que la centralita ha ordenado a través de la activación del motor. Es una especie de retroalimentación para detectar averías. El sensor es magneto-resistente y varía su resistencia al modificarle el campo magnético. Es alimentado por la centralita con 5 V y manda una señal de frecuencia variable a la centralita.

La estrategia de la centralita de gestión del motor es la siguiente:

– En arranque, la mariposa de gases permanece totalmente abierta para favorecer la entrada de aire y evitar una posible caída de presión; el llenado se controla con la apertura de válvulas.
– A ralentí en frío, entre 10 y 60 °C, se controla el ralentí con la mariposa a la vez que la centralita controla la alzada. A ralentí en caliente, por encima de 60 °C, a los 60 segundos de arrancar, la centralita desactiva la mariposa de gases y controla el llenado con las válvulas; la apertura de las válvulas de admisión es de 0,3 mm, entrando el aire así a gran velocidad y produciendo buena turbulencia.
– Durante el resto de regímenes, la mariposa de gases permanece inactiva y el llenado se regula con las válvulas. La máxima alzada de la válvula de admisión que se puede obtener es de 9,7 mm. Se puede regular la alzada con el sistema explicado y también los momentos de apertura y cierre, en ambos árboles, porque este sistema está combinado con un variador de fase celular de aletas, como los ya explicados anteriormente.

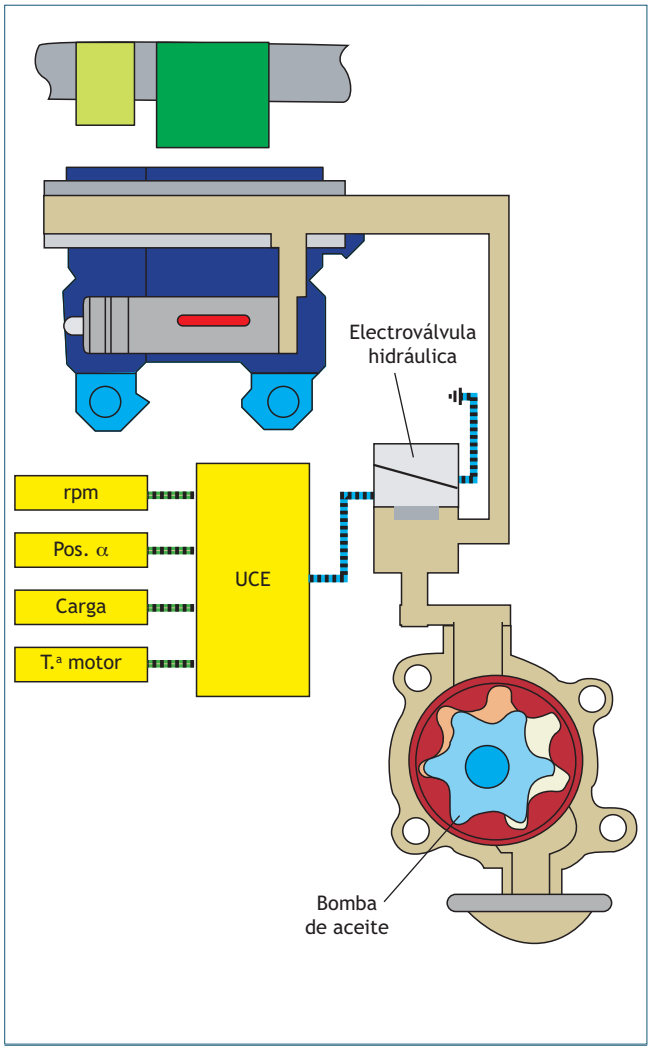
### Distribución variable tipo VTEC

VTEC significa *Variable Valve Timing and Electronic Lift Control,* es decir, apertura de válvulas variable controlada electrónicamente. En este tipo de distribución cambia la alzada de la válvula y también el momento de apertura y cierre.

Los sistemas VTEC pueden llevar uno o dos árboles de levas en cabeza (SOHC o DOHC). Cuando llevan un único árbol de levas en cabeza, las válvulas de escape no llevan variación en su alzada y cuando llevan dos, sí que varía la alzada del escape también.

Existen diversas evoluciones de los sistemas VTEC, así pues nos podemos encontrar:

1. VTEC. Es el primer desarrollo. Las válvulas de admisión abren las dos por igual pero con una menor alzada a bajas y medias revoluciones y mayor alzada a altas revoluciones.
2. VTEC-E. En esta variante una de las válvulas de admisión se mantiene prácticamente cerrada a bajas revoluciones, lo que provoca una mayor turbulencia en el cilindro para que sea mayor la homogeneización de la mezcla, pudiendo trabajar con mezclas pobres para disminuir el consumo y las emisiones contaminantes.




**12.35.** Esquema de funcionamiento del sistema VTEC.

3. i-VTEC. La i inicial significa inteligente, pues además del sistema VTEC incluye un variador de fase proporcional, que permite el desfase del árbol de levas de forma continua, mejorando notablemente, sobre todo, la entrega de par a bajas vueltas.

### VTEC

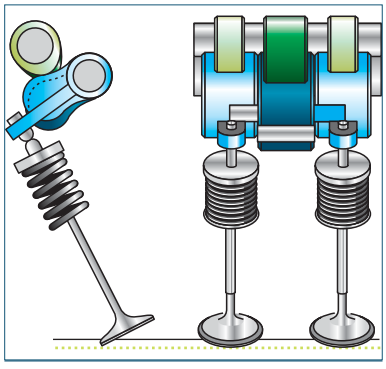
Los sistemas VTEC convencionales tienen dos válvulas de admisión, tres levas para abrir esas dos válvulas y tres semibalancines independientes en un principio, pero con un eje común, y que se pueden hacer solidarios por medio de unos bulones que se desplazan hidráulicamente por la acción de una electroválvula controlada por la centralita de gestión del motor (figura 12.35), en función de parámetros como revoluciones, carga, temperatura del refrigerante, etc.

De las tres levas, las dos exteriores tienen un perfil igual con un ligero desfase entre ellas, así primero abre una y ligeramente después la otra, consiguiendo un mejor llenado. Estas levas son para bajas o medias revoluciones, es decir, buena entrega de par para conseguir elasticidad. La leva central tiene una alzada mayor y un perfil especial para conseguir buena entrega de par a altas revoluciones y, por tanto, buena entrega de potencia.

Los semibalancines exteriores son los que activan las válvulas. El semibalancín central no tiene contacto directo con ninguna válvula. Entre ellos y las colas de las válvulas se intercalan unas piezas calibradas que sirven para hacer el reglaje de válvulas. Los balancines tienen un muelle que les hace subir cuando no son atacados por las levas.

La estrategia de la centralita de gestión del motor es la siguiente:

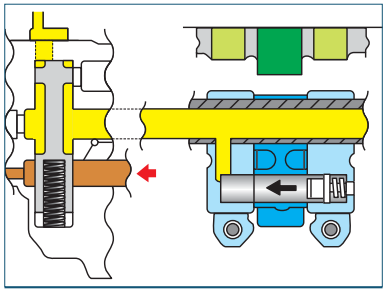
1. Cuando se necesita bastante **entrega de par** para que el motor sea elástico, a bajas y medias revoluciones, la centralita no activa la electroválvula y el motor funciona sin activar el sistema VTEC (figuras 12.36 y 12.37), es decir, abriendo las válvulas poca alzada para tener buena velocidad en los gases frescos y conseguir buen llenado. Para ello, las válvulas se abren empujadas por los semibalancines exteriores, que a su vez se ven actuados por las levas exteriores. El semibalancín central es activado por la leva central, que tiene mayor alzada, pero, al no estar conectado en este momento a ninguna válvula ni semibalancín vecino, no activa ninguna válvula. De los bulones de enclavamiento, uno se queda en un semibalancín de un lado y el otro en el central; un muelle se encarga de ponerles en esta posición en la que no hay enclavamiento entre ellos.
2. Cuando se necesita bastante **entrega de potencia**, a altas revoluciones, la centralita activa la electroválvula, que recibe aceite a presión del sistema de lubricación y el motor funciona con el sistema VTEC activado (figuras



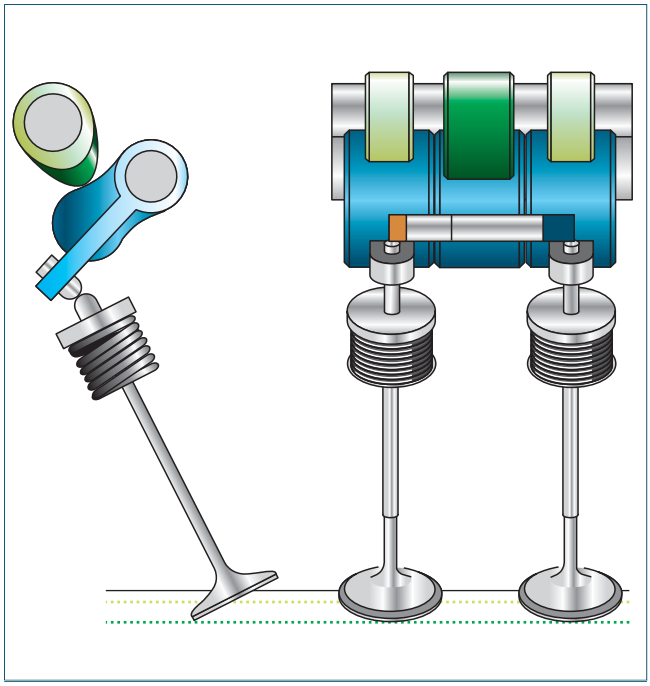
**12.36.** VTEC inactivo.

12.38 y 12.39), es decir, desplazando los dos bulones por la presión de aceite que les llega, quedando cada bulón entre el central y uno de los lados, consiguiendo hacer solidarios los tres semibalancines. De esta forma, la leva central, que es la de mayor alzada, hace que el semibalancín central baje más y, al ser los tres solidarios, los dos exteriores abren las válvulas, a los que están unidos, con mayor alzada, consiguiendo mejor llenado a altas revoluciones al haber mayor sección de paso para los gases frescos. Las levas laterales no llegarán a atacar a los balancines laterales.

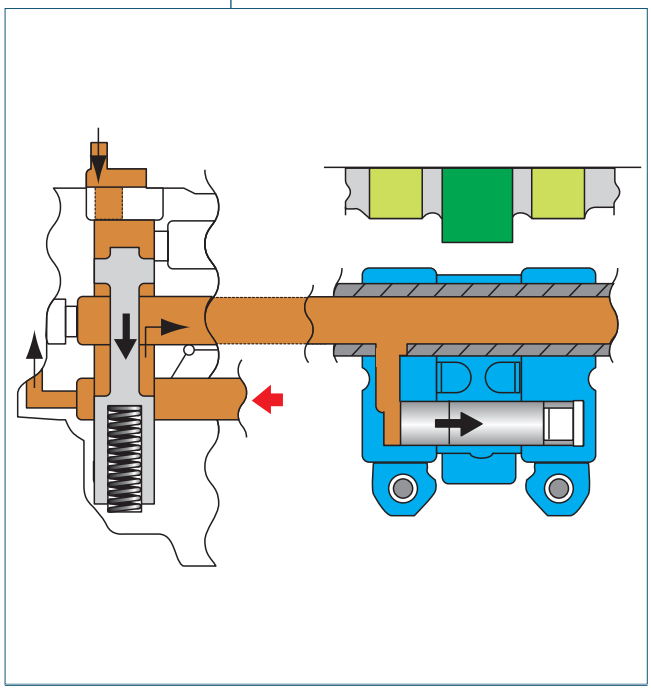
3. Cuando se vuelve a regímenes bajos, o medios, la centralita desactiva la electroválvula permitiendo el retorno de aceite y el muelle coloca los bulones en posición de reposo para que los balancines queden separados entre sí.



**12.37.** Electroválvula VTEC inactiva.



**12.38.** VTEC activo.



**12.39.** Electroválvula VTEC activa.

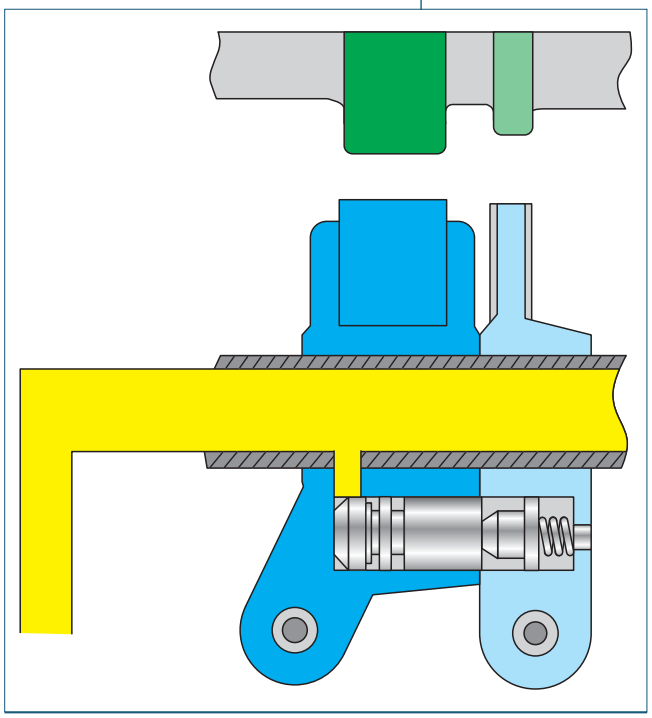
## VTEC-E

**Esta variante del sistema VTEC funciona de forma distinta aunque mecánicamente es similar. Su funcionamiento consiste en activar solo una de las dos válvulas de admisión cuando se requiere buena entrega de par, a bajas y medias revoluciones, para que haya una buena turbulencia. La válvula que no abre no queda cerrada del todo, pues llega a abrir 0,65 mm para que no haya una acumulación de gases frescos en esa parte del colector y para que estos refrigeren la válvula.**

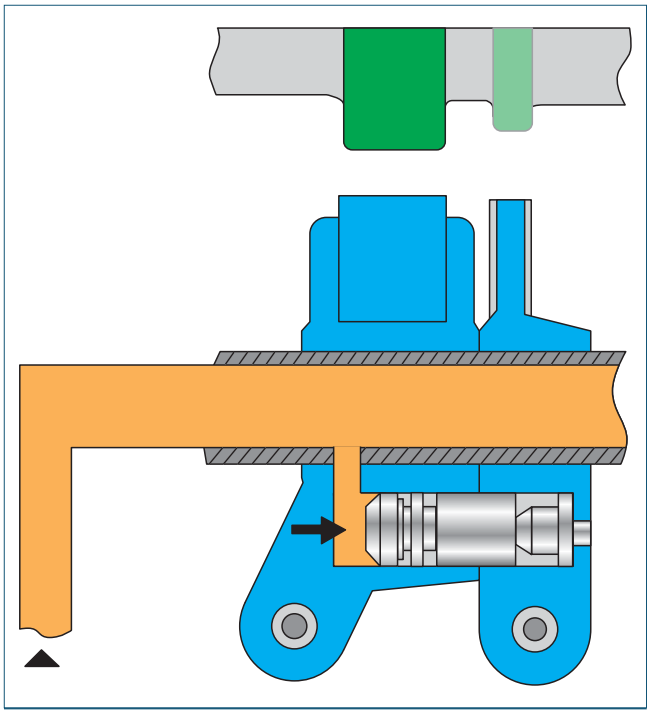
Este sistema consta de un árbol de levas, con dos levas para las válvulas de admisión de un cilindro, una de gran alzada y otra pequeña con muy poca alzada, y de dos semibalancines independientes pero que se pueden hacer solidarios por el enclavamiento de un único bulón controlado hidráulicamente por la centralita.

La estrategia de la centralita de gestión del motor es la siguiente:

1. Desde ralentí hasta 2 500 rpm aproximadamente (figura 12.40), hay una buena entrega de par, y el motor funciona como un motor de 2 válvulas por cilindro. Una válvula tiene una alzada de 8 mm y la otra de 0,65 mm. La electroválvula que controla la centralita no está activada y el bulón de enclavamiento se encuentra en el semibalancín que está en contacto con la leva de mayor alzada, empujado por un muelle.

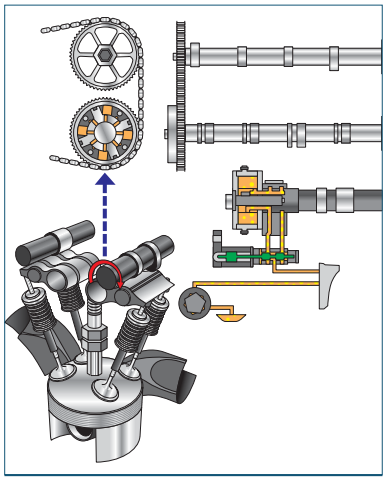


**12.40.** Electroválvula y VTEC-E inactivos. Entrega de par.



**12.41.** Electroválvula y VTEC-E activos. Entrega de potencia.

2. A partir de 2 500 rpm aproximadamente (figura 12.41), existe una buena entrega de potencia, y el motor funciona como un motor de 4 válvulas por cilindro. La centralita activa la electroválvula que comunica la presión de aceite de lubricación con el bulón de enclavamiento, empujándolo contra el muelle y situándolo entre los dos semibalancines, haciéndolos solidarios. De esta forma la leva de mayor alzada empuja a los dos semibalancines, abriendo las dos válvulas con la misma alzada de 8 mm, consiguiendo mayor sección de paso de gases frescos, al tiempo que mejora el rendimiento volumétrico, el par y la potencia.



**12.42.** Funcionamiento del sistema i-VTEC.

### i-VTEC

**Al sistema VTEC se incluye un variador de fase celular de aletas (figura 12.42); con ello se consigue tener mayor entrega de potencia a altas revoluciones y sobre todo entrega de par a bajas revoluciones.**

La centralita de gestión del motor controla, además de la electroválvula del VTEC, la del variador de fase celular de aletas, pudiendo hacerlo de forma proporcional, es decir, consiguiendo diferentes cotas de desfase en función de las necesidades.

## 5 >> Sobrealimentación

Los motores atmosféricos tienen un límite de llenado debido a que el cilindro se ocupa con la presión atmosférica (1 bar); pero si se consigue introducir el aire a presiones mayores que la atmosférica se lograría un aumento del rendimiento volumétrico y, por tanto, más par y mayor potencia. Esto se consigue con la sobrealimentación de los motores.

> **La sobrealimentación consiste en introducir aire previamente comprimido para aumentar su presión y conseguir mejorar el rendimiento volumétrico.**

La sobrealimentación es muy útil para motores diésel, pues estos trabajan con exceso de aire y cuanta más cantidad de aire se admita mejor será el rendimiento y menor la contaminación. Sin embargo, en motores otto se pueden producir detonaciones, porque al aumentar la presión de llenado aumenta la presión de compresión.

Nos podemos encontrar los siguientes tipos de sobrealimentación:

| Sobrealimentación | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Turbocompresores | | Compresores volumétricos | | |
| Geometría fija | Geometría variable | *Roots* | *Lysholm* | Compresor G |

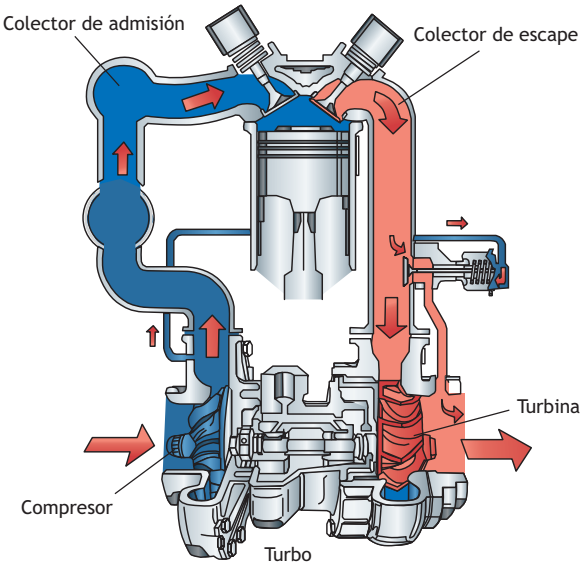
### 5.1 > Turbocompresores

> **El turbocompresor comprime el aire que va a entrar a la admisión utilizando la energía calorífica de los gases de escape. Se aprovecha parte de la energía térmica contenida en los gases, que se iba a disipar en la atmósfera, aumentando la eficiencia energética del motor.**

Siempre que se reutiliza una energía que se va a perder, se está mejorando el rendimiento del motor y, por consiguiente, aumentarán sus prestaciones y se reducirán sus consumos. En efecto, en motores diésel sobrealimentados se consiguen aumentos de prestaciones muy importantes y bajadas de consumo. En motores otto sobrealimentados también se consiguen aumentos de prestaciones importantes pero el consumo suele aumentar, en vez de disminuir.

#### Turbocompresores de geometría fija

Se intercala en la línea de escape una **turbina**, que es accionada por la energía calorífica de los gases de escape, para conseguir aprovechar estos gases. Dicha turbina tiene unos álabes fijos a un eje de giro. Los gases de escape, muy calientes después de la combustión, al abrir la válvula de escape y encontrar una salida, tienden a expandirse en el colector de escape, saliendo a gran velocidad y usando esta para mover la turbina (figura 12.43),




**12.43.** Esquema de instalación de un turbocompresor.

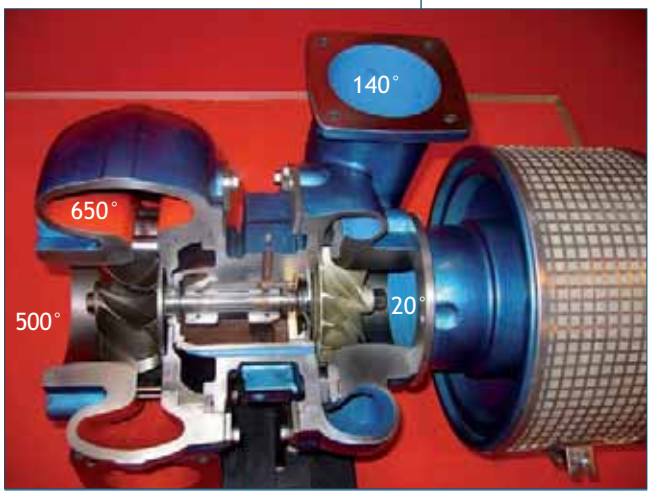
## Vocabulario

**Cojinetes axiales:** constan de dos discos solidarios al eje que rozan sobre una zona de fricción, limitando el juego axial del eje.

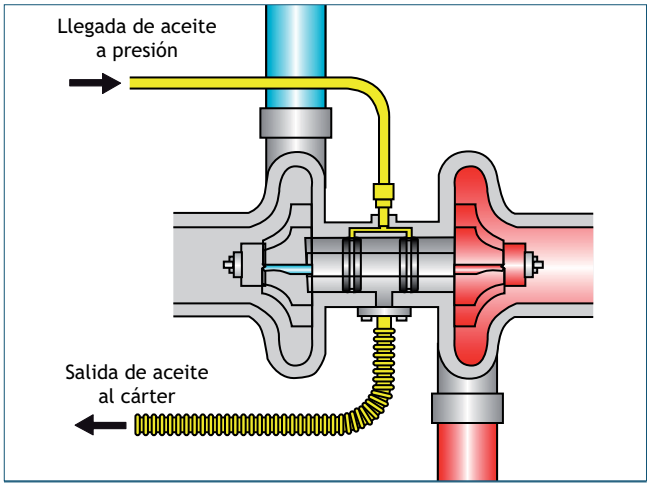
que lleva un eje de giro, apoyado en dos cojinetes, unido a un **compresor** en el otro extremo, intercalado, en este caso, en el colector de admisión, que aumenta la presión del aire de admisión que va a llenar el cilindro.

La energía calorífica que tienen los gases de escape puede llegar a hacer girar la turbina, el eje y el compresor hasta unas 250 000 rpm y hacer que funcionen a unas temperaturas de unos 600 °C en turbina, 200 °C en el eje y 100 °C en el compresor (figura 12.44).

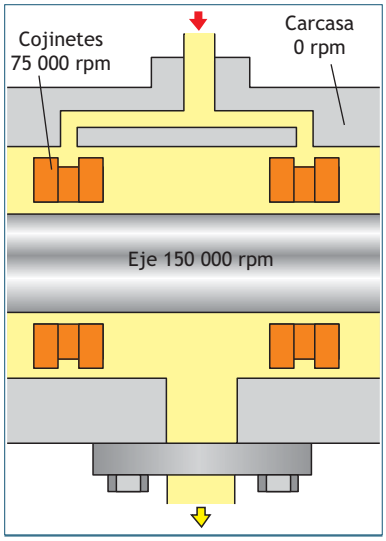
Con estas solicitaciones mecánicas y térmicas se debe realizar muy bien el engrase y la refrigeración, sobre todo del eje. El engrase se hace con aceite a presión, procedente de la galería principal de engrase a través de un tubo que vierte el aceite al eje y a los cojinetes para lubricarlos y rebajar su temperatura (figura 12.45). El aceite una vez que ha lubricado y refrigerado cae al cárter por otro tubo mayor por la gravedad, teniendo en cuenta que cualquier obstrucción hará que el aceite no retorne bien y pase las juntas de estanqueidad hacia la turbina y el compresor.




**12.44.** Temperaturas en un turbocompresor.




**12.45.** Engrase del turbocompresor.



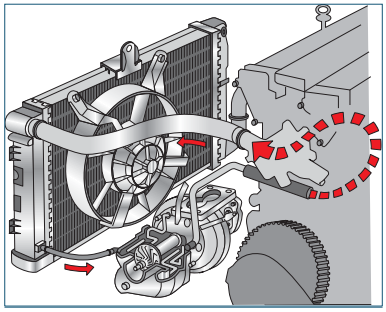

**12.46.** Revoluciones de los cojinetes.

Los cojinetes radiales (figura 12.46) están hechos generalmente de latón y suelen ser de tipo flotante, es decir, que no van unidos ni a la carcasa ni al eje, así si el eje gira a 150 000 rpm y la carcasa sabemos que está parada, estando el cojinete libre de la carcasa y del eje, conseguimos que gire a la mitad de revoluciones que el eje, a 75 000 rpm; así habrá una diferencia de revoluciones igual a la mitad de las del eje entre cojinete y carcasa, y cojinete y eje. De esta forma se deterioran menos los cojinetes, la carcasa, el eje y el lubricante. Se trata de interponer una película entre cojinete y carcasa, y cojinete y eje para que no haya rozamiento físico entre ellos. Esta película sirve también para absorber vibraciones y estabilizar el eje. También existen unos **cojinetes axiales** que limitan el movimiento axial del eje debido a los diferentes empujes entre turbina y compresor.

Hay que conseguir en el turbo que los gases de escape de la turbina, que están a gran presión y temperatura, no consigan penetrar en el cuerpo del turbo y que el aceite del cuerpo del turbo que puede estar a unos 4 bar de presión no pase ni a la turbina ni al compresor, pues produciría un alto

consumo de aceite y una elevada contaminación. Esto se consigue a través de **juntas de estanqueidad sin contacto**, que consisten en unos aros solidarios a la carcasa que entran en unas ranuras practicadas en el eje y forman un laberinto, impidiendo a los gases realizar continuos cambios de dirección.

En algunos turbocompresores, sobre todo en los utilizados en los motores de gasolina que tienen mayor temperatura en el escape, la zona del eje lleva una cámara exterior que va llena de líquido refrigerante procedente del circuito de refrigeración (figura 12.47) y que se enfría en el radiador principal para evacuar el calor de esta zona y del aceite que lo lubrica y refrigera también, aunque lo habitual es que la única refrigeración que lleven sea la del lubricante.



**12.47.** Turbo con refrigeración líquida.

Las ventajas de los turbocompresores son las siguientes:

– Aumento del rendimiento volumétrico.
– Aumento de prestaciones.
– Disminución de consumos, sobre todo en vehículos diésel.

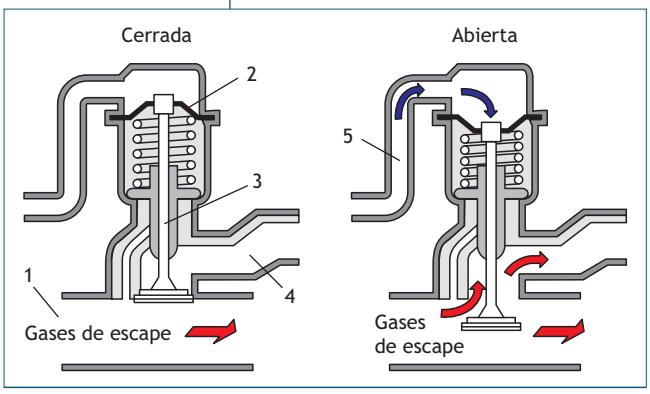
Los inconvenientes más destacables son los que siguen:

– Encarecimiento del precio del motor.
– Aumento de presión en la admisión descontrolada.
– Aumento de la temperatura del aire de admisión.
– Pérdida de fiabilidad en el motor.
– Pérdida de rendimiento a bajas revoluciones.

El **encarecimiento del precio del motor** queda sobradamente compensado con el aumento de prestaciones y la disminución de consumos.

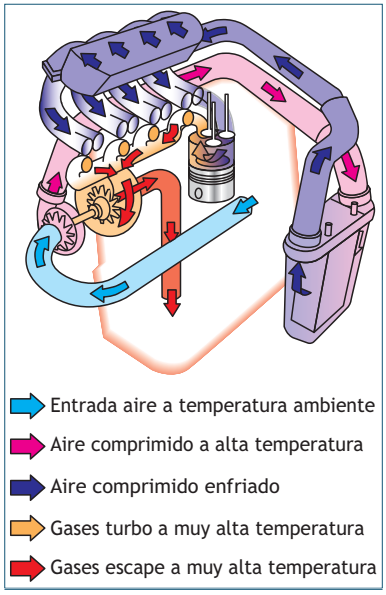
El **aumento de la presión en la admisión** descontrolada se produce cuando el motor sube de vueltas y aumentan los gases de escape quemados que mueven más rápido la turbina, que impulsa a su vez más rápido al compresor. Se genera más presión en la admisión, por lo que se queman más gases que antes y se acumulan en el escape. De esta forma, se produciría un círculo vicioso que podría llevar a la rotura del motor. Esto se puede solucionar haciendo un *by-pass* en el escape que puentea la turbina cuando haya mucha presión en la admisión. Este puente se hace con una válvula (figura 12.48) que, generalmente, accionada neumáticamente por la presión del colector de admisión, puentea la turbina cuando existe mucha presión en la admisión. Esta válvula es llamada válvula *wastegate* o válvula de regulación del turbo.

1. Colector de escape
2. Membrana
3. Válvula
4. *By-pass*
5. Tubo que transmite la presión del turbo en el colector de admisión




**12.48.** Válvula *wastegate*.

El **incremento de la temperatura del aire de admisión** hace que el aumento del rendimiento volumétrico sea menor del que se podría conseguir; debido a que con ese incremento de temperatura el aire se dilata y se reduce su densidad, entrando menos cantidad de aire en un mismo volumen. La solución a este problema sería colocar un radiador (figura 12.49), denominado intercambiador de calor, que refrigera el aire que entra al motor generalmente con aire ambiente, por ello llamado intercambiador aire/aire, aumentado su densidad y consiguiendo llenar mejor el motor.




**12.49.** Intercambiador aire-aire.

Cuanto más grande sea y más próximo a la admisión esté, mejor será el rendimiento de este intercambiador.

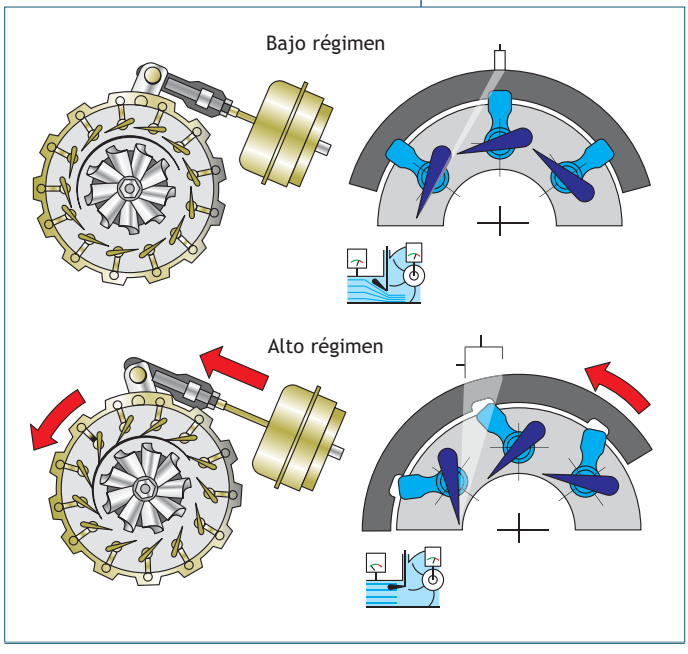
**La pérdida de fiabilidad en el motor** es debida a factores como:

– Mayor presión de compresión, esto solicita más al motor.
– Mayor número de componentes, esto aumenta la posibilidad de avería.

Para solucionarlo se suele mejorar la resistencia de los materiales empleados en la fabricación, así como optimizar el sistema de refrigeración y de engrase y se debe tener mayores precauciones a la hora de conducir estos vehículos.

Para evitar averías tempranas es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

– Evitar parar el motor inmediatamente cuando se haya solicitado trabajo importante al turbo como altas revoluciones. Se recomienda dejar el motor a ralentí un minuto antes de apagarlo, si no el eje estará muy caliente y al detener el motor se para la circulación de aceite y el que se encuentra alrededor del eje se carbonizará, produciendo depósitos que disminuyen la holgura por la que pasa el aceite de lubricación. Con el paso del tiempo se produce el gripado del eje. Si lo dejamos al ralentí el aceite frío sigue fluyendo y refrigerando el eje.
– Procurar no arrancar el coche con el acelerador pisado, pues el motor y el turbo subirán de vueltas muy rápido, y no dará tiempo a que el aceite ascienda a las partes altas del motor y al eje del turbo, haciendo que este gire sin lubricación.
– Intentar no parar el motor estando acelerado, pues el motor térmico se detiene rápidamente al ser muy pesado, pero el eje del turbo tardará en parar pues es muy ligero y va muy rápido, quedándose sin el aceite que envía la bomba.



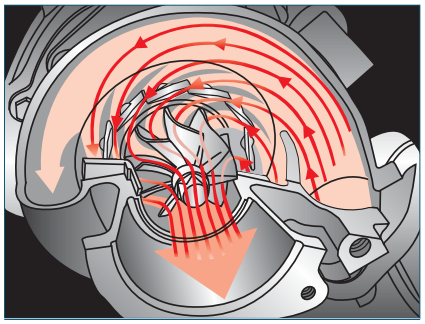

**12.50.** Turbo de geometría variable.

La **pérdida de rendimiento a bajas revoluciones** se debe a que a bajas vueltas el motor tiene poca energía calorífica en los gases de escape y que la cantidad de estos gases es muy pequeña. Además está la turbina intercalada en el escape y el compresor intercalado en la admisión, con lo que se frena el paso de los gases que están en movimiento al no girar a las suficientes revoluciones todavía. Un turbocompresor convencional empieza a soplar bien a partir de unas 2 500 rpm. Esto se puede solucionar haciendo que el turbocompresor sea de geometría variable (figura 12.50).

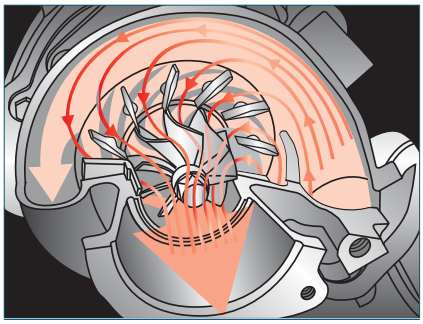
### Turbocompresores de geometría variable

A estos turbocompresores se les colocan unas pequeñas palas que orientarán su posición según las revoluciones del motor para que el aire incida con distintos ángulos sobre los álabes de la turbina. Estas palas son movidas neumáticamente o por electricidad, pero siempre controladas por la centralita

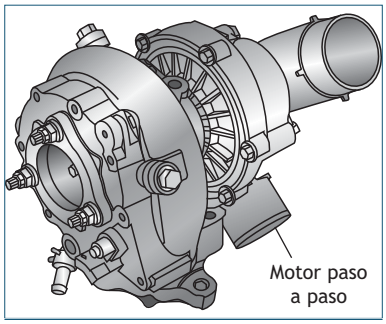
de gestión del motor. Así se consigue que a bajas vueltas las palas hagan que los gases choquen con los álabes de la turbina lo más perpendicularmente posible para que se produzca el mayor empuje (figura 12.51); y que a altas revoluciones, que puede haber un exceso de presión en la admisión, los gases incidan con menor inclinación para que se produzca menor fuerza de empuje en los álabes de la turbina (figura 12.52) y así se reduzca la velocidad del compresor y la presión que este genera. Este tipo de turbocompresor de geometría variable no lleva válvula *wastegate*, pues hacen su regulación a través de la geometría variable. A veces el accionamiento de las palas que hacen variar la geometría es eléctrico (figura 12.53).



**12.51.** Detalle de las palas a bajas revoluciones.



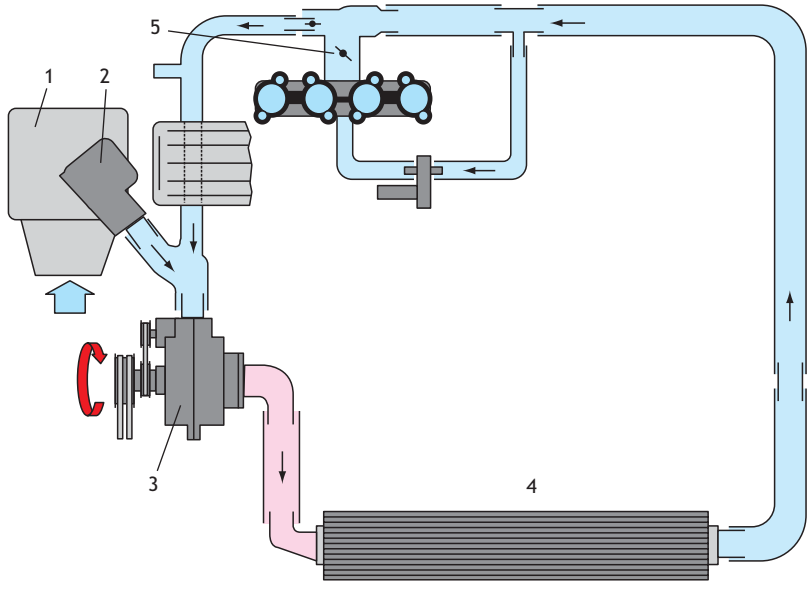
**12.52.** Detalle de las palas a altas revoluciones.




**12.53.** Turbo con motor paso a paso de regulación de álabes.

## 5.2 > Compresores volumétricos

**Los compresores volumétricos sirven para aumentar el rendimiento volumétrico elevando la presión. A diferencia de los turbocompresores, el accionamiento es mecánico desde el cigüeñal, en lugar de aprovechar los gases del escape (figura 12.54).**




**12.54.** Esquema de conexión de un compresor volumétrico.

El accionamiento desde el cigüeñal más habitual es la correa, pero se pueden encontrar accionamientos por cadena o engranajes, siendo estos últimos más ruidosos que el primero.

Los compresores se diseñan para que al máximo de revoluciones se obtenga la máxima presión de soplado prevista; así no hace falta que lleven válvula de descarga como los turbocompresores.

Para conseguir la compresión del aire, que luego el motor va a consumir, se admite aire en una cámara del compresor con un volumen determinado que, a través del giro conseguido a partir del accionamiento del cigüeñal, disminuye el volumen de dicha cámara, aumentando así la presión del aire.

En el accionamiento existe una multiplicación del giro, comprendida generalmente entre 1:1,5 y 1:2, respecto del cigüeñal, de tal forma que el compresor pueda girar entre 10 000 y 15 000 rpm cuando el motor gire a 7 500 rpm.

Las ventajas de los compresores volumétricos frente a los turbocompresores son las siguientes:

1. Mayor rapidez de respuesta y mayor progresividad.
2. Mejora en el rendimiento volumétrico a bajas revoluciones.
3. Menor calentamiento y menor necesidad de lubricación.

La **mayor rapidez de respuesta** se debe a que después de una retención, el compresor está alto de vueltas y listo para soplar con fuerza; cosa que no ocurre en los turbos, pues al no haber alimentación de combustible no hay gases quemados y desde que se pisa el acelerador hasta que se obtiene una respuesta, pasa más tiempo. La **mayor progresividad** de los compresores se debe a que el soplado está en función de las revoluciones del motor, siendo estas más progresivas que los gases de escape, que son los que se usan para hacer el soplado en un turbocompresor.

La **mejora del rendimiento volumétrico a bajas revoluciones** se produce porque a bajas vueltas en los turbos no hay soplado, debido a que no hay suficiente cantidad de gases quemados para hacer girar la turbina, siendo esta además un estorbo para la salida de gases. Esto no pasa en los compresores.

El **menor calentamiento** es provocado por la falta de contacto con los gases de escape, como en los turbocompresores, y por esto mismo también tienen **menor necesidad de lubricación,** no necesitando engrase directo, sino que suelen tener un pequeño cárter que sirve para engrasar de continuo los cojinetes, presentando un mantenimiento muy prolongado.

Los inconvenientes del compresor volumétrico frente al turbocompresor son los siguientes:

– **Peor rendimiento volumétrico a altas revoluciones.** Se debe a que los compresores giran mucho más despacio que los turbos y a que no se sobredimensionan porque absorben mucha potencia del motor.
– **Mayor absorción de potencia del motor.** Ocurre porque el giro se obtiene del cigüeñal, restándole potencia de la que le proporciona dicho mecanismo; en los turbos se aprovecha la energía de los gases de escape que se va a perder.

Los compresores más habituales son:

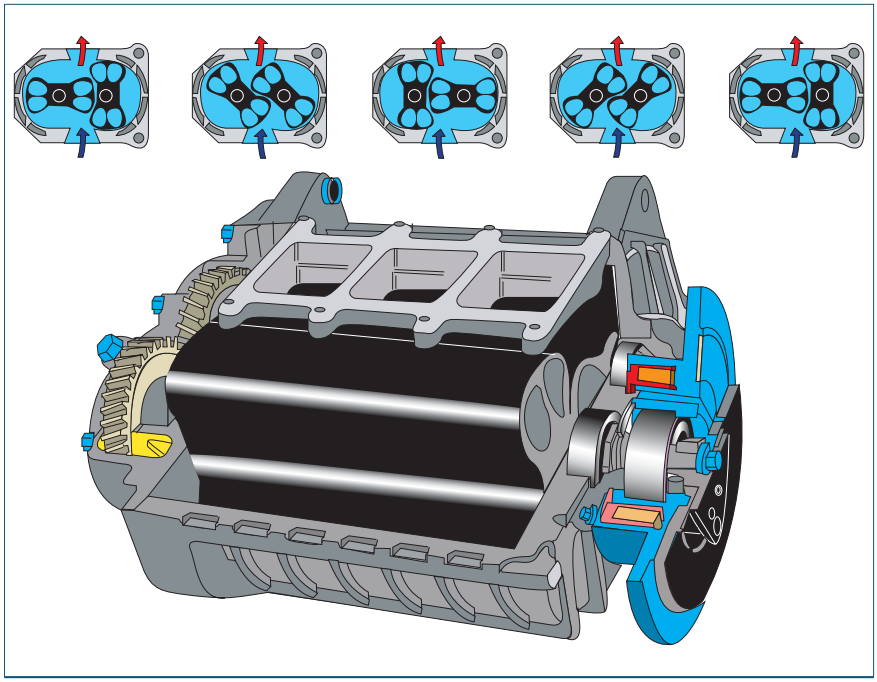
1. El compresor *roots.*
2. El compresor *lysholm* (variante del *roots*).
3. El compresor centrífugo o G.

### El compresor *roots*

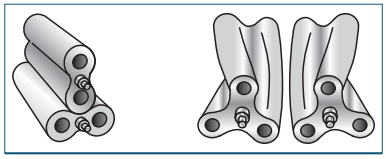
> **El compresor *roots* es un impulsor que aumenta la presión de la admisión impulsando el aire gracias a la velocidad que adquiere del cigüeñal.**

Este compresor no consigue comprimir mucho el aire, pues no reduce el volumen de la cámara. Tampoco logra aumentar rápidamente la presión y calienta bastante el aire que va a admitir el motor, disminuyendo aún más el rendimiento volumétrico, en comparación con otros compresores más modernos.

Consta de dos rotores, cada uno con dos o tres lóbulos y dos o tres huecos (figura 12.55), en forma de ocho, que encajan entre sí sin llegar a tocar (figura 12.56). Los ejes de los rotores se apoyan en sus extremos sobre unos cojinetes. Los rotores pueden tener los lóbulos rectos o helicoidales. A mayor número de lóbulos mayor será la compresión del aire y mejor el rendimiento volumétrico, además de lograr que el aire entre de forma menos pulsátil al motor. Este efecto también se contrarresta en parte haciendo que los lóbulos sean helicoidales.



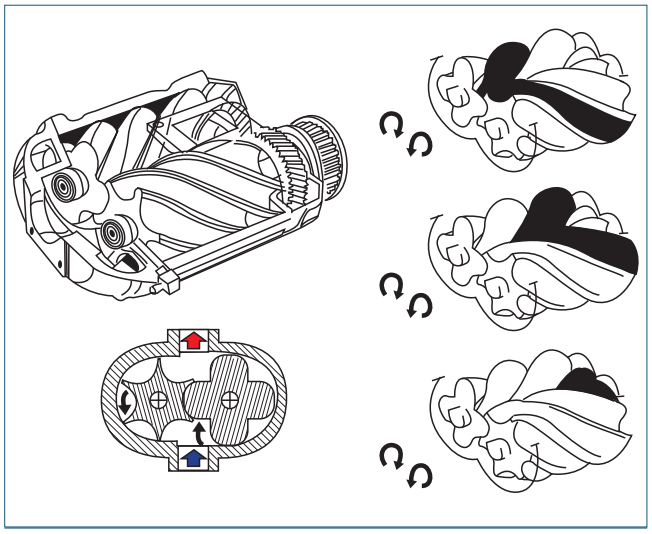
**12.56.** Funcionamiento de un compresor *roots*.



**12.55.** Compresor *roots* de dos lóbulos rectos y de tres helicoidales.

### El compresor *lysholm*

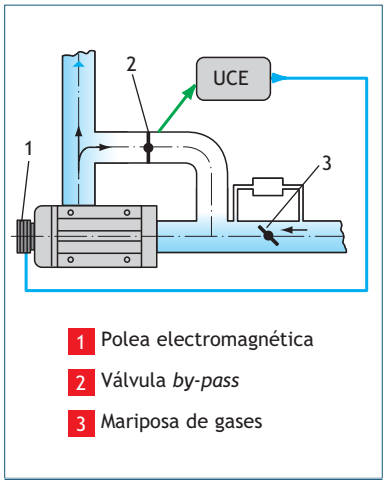
Existe una variante del *roots,* llamado *lysholm,* que se está usando en la actualidad y que subsana varios problemas que presenta el compresor *roots.*



12.57. Funcionamiento del compresor *lysholm*.

Consta de dos rotores con forma helicoidal que engranan entre sí. Aquí sí que se consigue disminuir el volumen de la cámara por el giro de los rotores y se comprime a mayor presión el aire. Tampoco hay contacto entre los rotores (figura 12.57), quedando un pequeño juego de 0,2 mm aproximadamente para que no haya rozamiento ni desgastes. Para mejorar la entrada de aire se recubren los dos rotores con un material altamente deslizante, evitando en la mayor medida de lo posible las pérdidas de cargas debidas al rozamiento en el interior del compresor. Los rotores se fabrican en aleación de aluminio y de forma hueca para disminuir su peso y, por tanto, sus inercias.

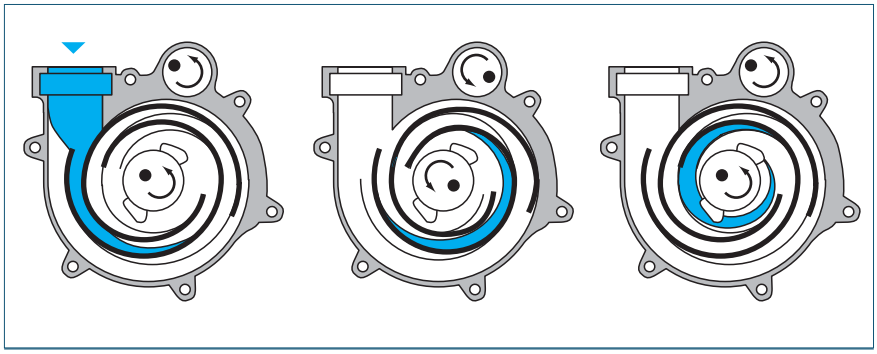
El accionamiento se produce a través de una correa desde el cigüeñal; la polea que lleva el compresor es embragable electromagnéticamente a través de la centralita de gestión del motor, pudiendo esta desconectarla cuando no sea necesario su accionamiento, llevando una válvula que lo puentea (figura 12.58), pero no para regular la sobrepresión sino buscando evitar que cuando se desconecta el accionamiento tenga que pasar el aire a través del compresor y haya que mover los rotores, entorpeciendo la entrada de gases. De esta forma el aire que entra no pasa por el compresor, teniendo un acceso con menor pérdida de carga. Cuando se demanda par por parte del conductor, la centralita de gestión de motor acopla la polea del compresor y, cuando detecta suficiente presión, a través de un sensor de presión que está en el colector, a continuación del compresor, cierra la válvula que puentea el compresor, haciendo las conexiones y desconexiones más progresivas.




12.58. Válvula de derivación de un compresor *lysholm*.

### El compresor centrífugo o G

Fue un compresor utilizado por el grupo Volkswagen pero que no se usa en la actualidad debido a los problemas de lubricación y de estanqueidad que presentaba. Consta de unas espirales fijas, solidarias a la carcasa y otras móviles (figura 12.59), donde se aprecia su forma de G. Estas espirales no aprovechan el giro del cigüeñal para girar, sino para realizar un movimiento excéntrico que consigue disminuir el volumen de las cámaras que crean las espiras, aumentando así la presión del aire que entra al motor.



12.59. Funcionamiento de un compresor centrífugo o G.

## Actividades finales

1·· ¿Qué inconveniente tiene aumentar la potencia con un incremento de cilindrada?

2·· ¿Cuáles son las formas más habituales de mejorar el rendimiento volumétrico?

3·· ¿Cuántas formas de mejorar el rendimiento volumétrico de un motor se pueden combinar?

4·· ¿Por qué son más usados los turbocompresores que los compresores volumétricos?

5·· ¿Qué solución presentan los turbocompresores para paliar la pérdida de par a bajas revoluciones?

6·· ¿Con qué número de válvulas por cilindro se consigue el mejor llenado?

7·· Para lograr un buen llenado, ¿cómo deben ser los colectores a bajas revoluciones? ¿Y cómo debe ser el AAA a bajas revoluciones?

8·· ¿Qué precaución debe tener en cuenta un conductor de un vehículo con motor turbo, cuando este está siendo solicitado, antes de parar el motor?

9·· ¿Cómo son los casquillos que lleva el eje de un turbocompresor?

10·· En distribuciones variables, ¿qué es lo que se puede variar?

11·· En un sistema *valvetronic*, ¿qué se modifica en la distribución?

12·· En un sistema celular de aletas, ¿qué cambia en la distribución?

13·· En un sistema i-VTEC, ¿qué varía en la distribución?

14·· En un sistema de tipo *variocam*, ¿qué cambia en la distribución?

15·· ¿Qué límites existen en el aumento de las revoluciones de un motor?

16·· ¿Para qué necesita un turbocompresor una válvula de descarga?

17·· ¿Qué nos limita el aumento de la relación de compresión?

18·· Las distribuciones variables que van reguladas electrónicamente, ¿en función de qué dos parámetros básicos trabajan?

19·· ¿Por qué funciona mejor un motor a bajas revoluciones con dos válvulas, que con cuatro válvulas si su distribución no es variable?

## Caso final

### Inspección de un turbocompresor

•• Entra en el taller un vehículo turbodiésel con turbocompresor de geometría fija. El vehículo presenta problemas de bajo rendimiento cuando circula a altas revoluciones.

¿Qué proceso debes seguir para investigar la avería?

**Solución** •• Los pasos que se deben seguir en un caso como el presentado, son los siguientes:

1. Prueba el vehículo en carretera para corroborar la falta de rendimiento.

En este caso, no se enciende el testigo de averías, el motor no da tirones, no sale humo negro por el escape, ni se escuchan ruidos anormales. El hecho de que no expulse humo negro corrobora el buen funcionamiento de la recirculación de gases del escape. Al no existir tirones debes descartar, en principio, que sea un problema de alimentación de combustible.

Si hubiese un desfase en la distribución, tendríamos problemas a la hora de arrancar en todas las revoluciones, no solamente en altas. Por ello, debes descartar también esta posibilidad.

2. Conecta la máquina de diagnosis de gestión de motor: comprueba que no hay averías en dicho sistema. Esto explica que no se encienda el testigo y la ausencia de averías.

3. Revisa el nivel de aceite, el filtro del aire y las tuberías de admisión: están todos ellos en buen estado y limpios. Tampoco hay restos de aceite ni obstrucciones.

4. Revisa la línea de escape y el catalizador. Comprueba que no hay golpes ni obstrucciones.

5. Una vez descartados todos los problemas anteriores, la falta de rendimiento puede ser debida a problemas en la sobrealimentación.

Procede a su inspección del siguiente modo:

- Comprueba visual y acústicamente que no existen fugas de aire ni de aceite en las conexiones y tuberías del turbocompresor.
- Desconecta la tubería de admisión, que va del turbocompresor al colector de admisión, y la salida del turbo hacia el escape e inspecciona la turbina (figura 12.60) y el compresor, asegurándote de que no presentan daños, que su giro es suave y que no hay acumulaciones de carbonilla. Estos están bien.

**12.60.** Inspección de la turbina.

- Mide el juego axial (figura 12.61) y el radial del eje (figura 12.62). Ten en cuenta que los datos indicados por el fabricante son:

- Juego radial: 0,04 a 0,10 mm
- Juego axial: 0,03 a 0,09 mm

Después de la medición obtienes que el juego radial mide 0,04 mm y el axial 0,03 mm, estando ambas mediciones dentro de tolerancias.

**12.61.** Medida del juego axial.

**12.62.** Medida del juego radial.

- Comprueba con un manómetro y una bomba de presión que la membrana de la cápsula neumática de la válvula limitadora de presión está bien. Dale presión y asegúrate que esta se mantiene.
- Comprueba el recorrido de la válvula de descarga con determinada presión.

Para ello coloca un reloj comparador en el extremo de la varilla que actúa sobre la válvula y aplica la presión indicada en el manual (figura 12.63).

Recorrido según fabricante: 0,01 mm con presión 100 mbar y 0,05 mm con 550 mbar. Resultados de la medición: 0,02 mm con 100 mbar y 0,05 mm con 420 mbar.

Aquí se aprecia que la válvula de descarga abre antes de lo debido. Esto produce la pérdida de rendimiento que se acusaba y, por tanto, es el motivo de la avería.

**12.63.** Comprobación del recorrido de la válvula de descarga.

- Procede a hacer el reglaje de la válvula de descarga para conseguir los datos del fabricante, aflojando las tuercas y actuando sobre ellas (figura 12.64). Observa que se encuentra dentro de tolerancias (figura 12.65).

Después comprueba, colocando un manómetro en el colector de admisión, que la presión de soplado está entre 550 y 600 mbar (figura 12.66), como indica el fabricante.

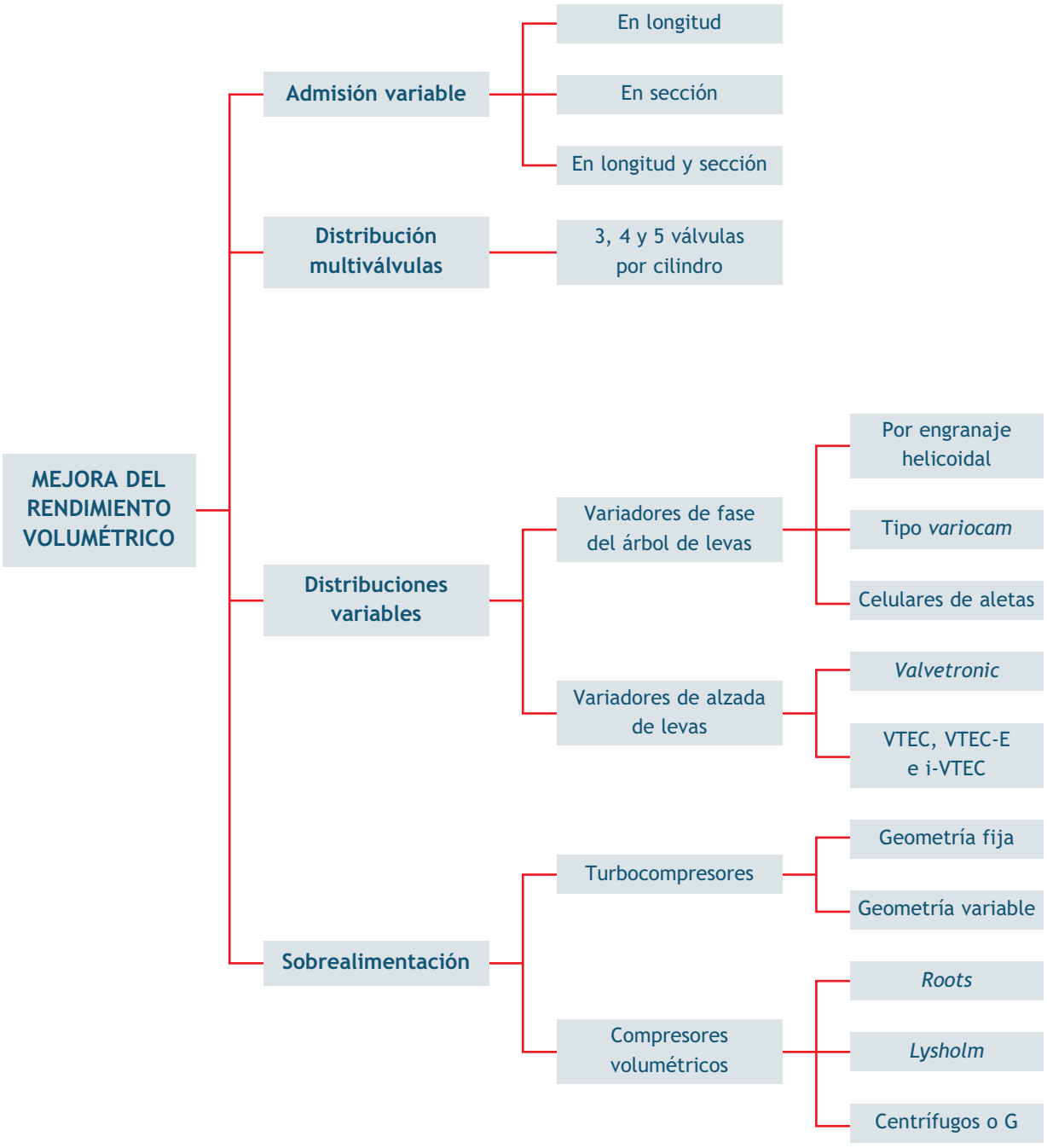
- Prueba el coche en carretera y verifica que el problema ha quedado solucionado.

**12.64.** Reglaje de la válvula de descarga.

**12.65.** Comprobación de reglaje de la válvula de descarga.

**12.66.** Comprobación de la presión de soplado.

## Ideas clave


MEJORA DEL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO
Admisión variable
En longitud
En sección
En longitud y sección
Distribución multiválvulas
3, 4 y 5 válvulas por cilindro
Distribuciones variables
Variadores de fase del árbol de levas
Por engranaje helicoidal
Tipo variocam
Celulares de aletas
Variadores de alzada de levas
Valvetronic
VTEC, VTEC-E e i-VTEC
Sobrealimentación
Turbocompresores
Geometría fija
Geometría variable
Compresores volumétricos
Roots
Lysholm
Centrífugos o G

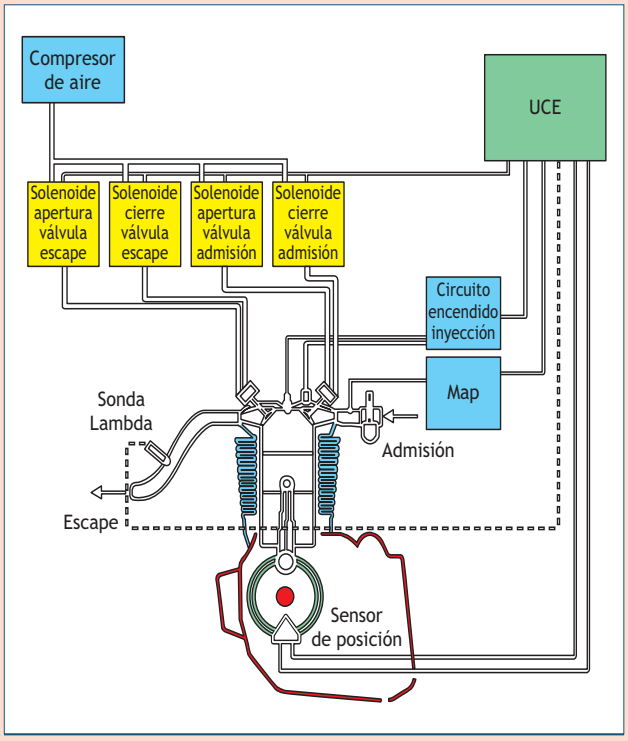
# DISTRIBUCIONES CON ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO

La tendencia actual va encaminada a mejorar el rendimiento volumétrico trabajando más el sistema de distribución y el siguiente paso es eliminar el accionamiento mecánico de la distribución, eliminando el árbol de levas y su accionamiento, sustituyéndolo por un sistema eléctrico controlado por la centralita del motor en función de diferentes señales que recibe, esto da la posibilidad de conseguir una gran precisión en el accionamiento y velocidad. También se eliminan por completo los mantenimientos como los reglajes.

Existen tres posibilidades de accionamiento de las válvulas:

– **Accionamiento electromagnético.** Consta de una armadura que contiene dos electroimanes y dos muelles por válvula, siendo el electroimán superior y el muelle inferior los de apertura de la válvula y el electroimán inferior y el muelle superior los de cierre de la válvula. El muelle se opone a la acción del electroimán respectivo. Los electroimanes van accionados por una centralita electrónica a través de una señal modulada, controlando el momento, la velocidad de apertura y la alzada de la válvula.
  Si los electroimanes no están excitados la válvula se mantiene en una posición intermedia por la acción de los dos muelles. Si se activa el electroimán superior el campo electromagnético producido abre la válvula, comprimiendo el muelle inferior, y si se activa el electroimán inferior el campo electromagnético producido cierra la válvula, comprimiendo el muelle superior.
  La activación de los electroimanes es modulada, dando la posibilidad de decelerar la válvula justo en el momento en que va a tocar esta con su asiento en el cierre, produciendo una suavidad de cierre que elimina ruidos y desgastes en asientos de culata y válvulas.
– **Accionamiento electrohidráulico.** Estos sistemas funcionan con aceite a presión del circuito de lubricación. Existen dos electroválvulas hidráulicas que dejan pasar presión para abrir la válvula y la retiran para cerrarla.
  Se hace llegar aceite a presión a través de una electroválvula hidráulica a la parte alta y baja de un pistón que lleva la válvula en su parte alta, siendo la sección del pistón en su parte inferior menor. Si las presiones son iguales la válvula abre al hacer mayor fuerza por tener mayor sección el pistón en la parte superior, así se consigue abrir la válvula. Para cerrarla es suficiente con disminuir la presión en la parte alta del pistón, mandándola a través de otra electroválvula hidráulica a retorno, para que la presión de debajo de este cierre la válvula.
– **Accionamiento electroneumático.** En el mundial de motociclismo, Honda monta distribuciones en las que se han sustituido no sólo los árboles de levas y su accionamiento, sino también los muelles helicoidales que cierran las válvulas. Estos han sido sustituidos por resortes neumáticos, controlados por válvulas electroneumáticas. De esta forma se consigue aumentar las revoluciones de los motores bastante, para conseguir aumentar la potencia, al no tener problemas de rebotes de válvulas que se suelen producir a altas revoluciones.

En estas distribuciones controladas electrónicamente los parámetros básicos que se usan son revoluciones, posición angular y carga (figura 12.67). Para medir la posición angular del cigüeñal con más precisión se coloca un generador óptico que es capaz de leer 360 muescas en la periferia del volante motor, pudiendo abrir y cerrar las válvulas con una apreciación de un grado de cigüeñal. La carga la recibe de un medidor de masa intercalado en el colector de admisión. Para hacer correcciones usa informaciones que le llegan para gestionar la inyección y el encendido. Para detectar si las válvulas abren y cierran en el momento que ordena la centralita, señal de retroalimentación, utiliza la señal de sonda lambda.




**12.67.** Control electrónico distribución electroneumática.

unidad 13

# Motores rápidos de motocicletas. Motores de dos y cuatro tiempos

## SUMARIO

- El motor de dos tiempos
- Constitución
- Funcionamiento
- Verificaciones
- Ventajas e inconvenientes

## OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento del motor de dos tiempos.
- Identificar los componentes principales del motor de dos tiempos.
- Valorar las diferencias entre motores de dos tiempos y cuatro tiempos.
- Saber realizar las verificaciones de los motores de dos tiempos.
- Conocer los aspectos diferenciadores de los motores rápidos de cuatro tiempos.

# 1 >> Antecedentes y clasificación de los motores de dos tiempos

Desde hace muchos años, se viene dotando a las motocicletas de propulsores diferentes, debido, principalmente, a la variedad de diseños que han surgido a lo largo de la historia. Por ello, podemos encontrar motocicletas con motores pequeños, del orden de 50 cc, hasta otras que tienen motores con 1 000 cc o más. El tamaño y potencia del motor viene determinado por las exigencias que se le quieran dar al vehículo. El tamaño es limitado (pequeño comparado con los automóviles), pero la potencia demandada grande. La forma principal de conseguir grandes potencias en motores poco pesados es aumentando el número de revoluciones, de ahí que se les denomine motores rápidos.

Otro aspecto muy importante es el precio. Para abordar toda la gama de potencias, precios y exigencias se han utilizado principalmente dos tipos de motores: el de cuatro tiempos y el de dos tiempos, ambos funcionando como motor de explosión.

En la presente unidad, vamos a estudiar estos dos tipos de motores para aplicaciones en motocicletas, concretando las particularidades de cada tipo de motor y la justificación en el uso de cada uno de ellos.

El motor de dos tiempos tiene la principal ventaja de su sencillez y mayor potencia específica que uno de cuatro tiempos, que lo hace ideal para motocicletas de pequeña cilindrada, y de un precio bastante reducido. Los grandes inconvenientes de los motores de dos tiempos son la mayor contaminación y el menor rendimiento.

## Clasificación de los motores de dos tiempos

Para clasificar los motores de dos tiempos se pueden seguir distintos criterios, como:

- **Según el número de ciclindros:** la mayoría son de un cilindro, aunque también los hay de dos y en menor medida de cuatro para competición y algún modelo de tres cilindros en línea y en V. Los motores de dos tiempos policilíndricos tienen la desventaja de necesitar cárteres independientes para cada cilindro, pues cada uno de ellos dispone de una cámara de precompresión.
- **Según la disposición de los cilindros:** pueden ser en línea o en V. Los bloques de cada cilindro pueden estar unidos (típico de los colocados en línea) o bien por separado (típico de los V).
- **Según el tipo de refrigeración:** por líquido o por aire (típico de los motores más pequeños).
- **Según el tipo de alimentación:** alimentación directa, por caja de láminas o por válvula rotativa.
- **Según el tipo de engrase:** dependiendo si la mezcla de aceite se hace en el exterior o en el interior del cilindro.
- **Según la colocación en la motocicleta.** Pueden ser transversales con el cigüeñal transversal a la marcha o longitudinales con el cigüeñal en la dirección de la marcha.
- **Según el sistema de alimentación:** por carburador o de inyección directa.

### El dos tiempos en automóviles

Hubo coches con motores de dos tiempos, sobre todo al final de la Segunda Guerra Mundial, para abaratar costes. Algunas marcas como DKW, FSO, SAAB, etc. lo implementaron en alguno de sus modelos.

### Potencia

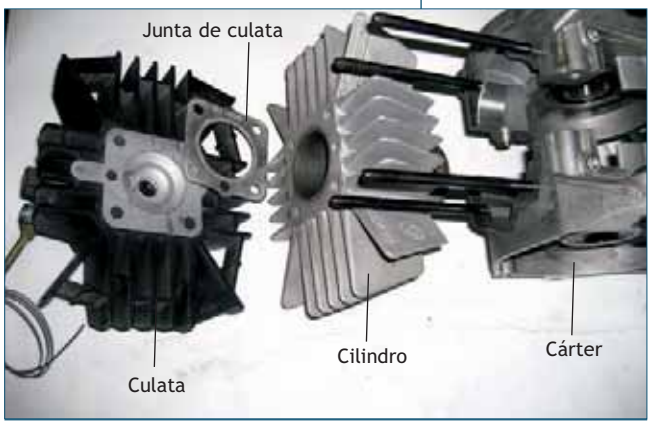
La potencia es directamente proporcional al par motor y a la velocidad angular. Por ello, para aumentar la potencia de un motor se pueden aumentar las revoluciones.

### Inyección directa

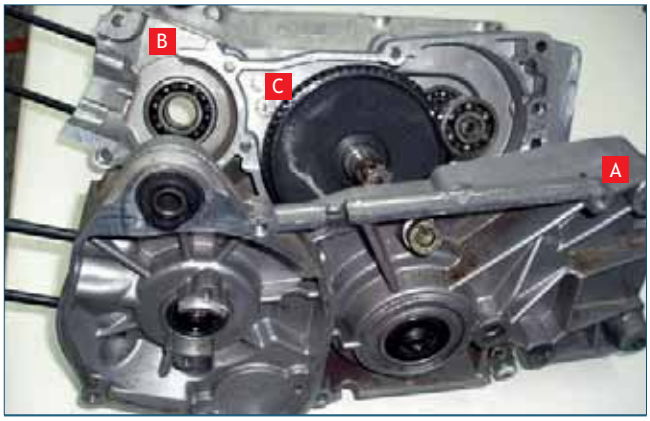
En la actualidad se está extendiendo el uso de la inyección directa. Con esta forma de alimentación se puede alimentar de combustible justo despues del cierre de la última lumbrera, la de escape y de esta forma evitar la salida por el escape de combustible. Permite ahorrar entre un 25 y un 50% de combustible. Al no entorpecer la gasolina, el aceite lubricante realiza mejor su función, pudiéndose reducir el consumo de este, que redundará en economía y menos contaminación.

## 2 >> Constitución del motor de dos tiempos

En el presente apartado se van a tratar independientemente cada uno de los órganos principales de que consta un motor de dos tiempos. Como en los motores de cuatro tiempos, los elementos de los motores de dos tiempos se pueden clasificar en fijos y móviles.




**13.1.** Elementos fijos.




**13.2.** Semicárteres.

A Semicárter
B Cárter central anterior
C Cárter central posterior

Práctica 6

Práctica 15

Práctica 16

### 2.1 > Elementos fijos

**Los elementos fijos son las piezas que permanecen estáticas durante el funcionamiento del motor. Estos elementos son el cárter, el cilindro y la culata.**

Los elementos fijos forman la **parte estructural** más importante del motor.

#### El cárter

**El cárter es el elemento encargado de hacer el motor estanco por su parte inferior, además de servir de apoyo al cigüeñal, hacer las funciones de la cámara de precompresión y de soportar otros elementos auxiliares como el generador eléctrico. Para ello el cárter se divide en dos semicárteres que unidos forman el cárter central. Los semicárteres se cierran por los laterales con sendas tapas.**

En una parte del cárter central es donde se crea la cámara de precompresión y se aloja el cigüeñal. A esta parte se le denomina **cárter central anterior.** Al resto de huecos cerrados por la unión de los dos semicárteres se les denomina **cárter central posterior,** y en él se alojan los elementos de la caja de cambios, cuando la tiene.

El cárter central anterior tiene un papel muy importante en la admisión de los motores de dos tiempos, ya que para un buen funcionamiento, el volumen interior de la cámara de precompresión (volumen del cárter central anterior) debe ser lo menor posible, pero tiene que disponer de espacio para albergar el cigüeñal y las masas de equilibrado del mismo.

Los cárteres pueden tener una apertura horizontal o vertical. La apertura vertical se usa prácticamente en todos los modelos monocilíndricos y la apertura horizontal cuando hay más de un cilindro.

**13.3.** Cárter de apertura vertical.

**13.4.** Cárter de apertura horizontal.

Para los apoyos de las partes móviles se usan rodamientos que se encajan en orificios practicados en los cárteres y para hacer la estanqueidad en estos orificios se usan retenes que ajustan entre el cárter y el eje. La estanqueidad del resto de uniones se realiza por juntas de papel aceitado, de gomas especiales, etc., ayudado de resinas selladoras entre las juntas y las superficies de contacto metálicas que aseguren una buena estanqueidad. En todo caso, hay que seguir siempre las recomendaciones del fabricante.

Se fabrican de aleaciones ligeras de aluminio con cobre, magnesio, manganeso, etc., mediante fundición y posterior mecanizado y tratamiento térmico. Las tapas laterales pueden ser metálicas o de materiales plásticos.

**13.5.** Cilindro refrigerado por líquido.

### El cilindro

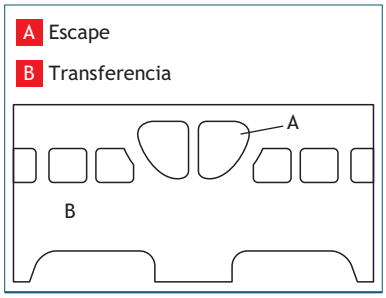
**El cilindro es el orificio que sirve de guía al pistón en su movimiento alternativo. Se apoya sobre el cárter central anterior y se cierra con la culata. El cilindro aloja las lumbreras.**

Al igual que en motores de cuatro tiempos, el cilindro se encuentra alojado en el bloque. La superficie de contacto con el pistón se denomina **camisa.** Se pueden distinguir los siguientes tipos de bloques y camisas:

- **Bloque refrigerado por aire:** lleva un aleteado para aumentar la superficie de contacto con el aire y obtener una buena refrigeración. En la unidad 15 se desarrolla este tipo de refrigeración.
- **Bloque refrigerado por líquido:** no necesita aleteado y, en cambio, el bloque debe tener huecos por donde circule el líquido refrigerante. En la unidad 15 se desarrolla este tipo de refrigeración.
- **Camisas integrales:** el orificio guía del pistón se mecaniza directamente sobre el bloque. Si el cilindro se desgasta, se debe volver a mecanizar, aumentando la cilindrada.
- **Camisas superpuestas:** consiste en introducir un cilindro complementario en el hueco del bloque. Este cilindro se puede fabricar con mejores propiedades antidesgaste y, en caso de desgaste, se puede sustituir sin tener que desechar el bloque por completo. El montaje se hace por presión o interferencia en frío o calentando el bloque para que dilate.

**13.6.** Cilindro visto por el lado del cárter.

**13.7.** Cilindro visto por el lado de la culata.




**13.8.** Mapa de lumbreras: transferencia y escape.

Las lumbreras son orificios practicados en el bloque, por lo que forman parte del cilindro. Tienen la función de realizar el llenado del cilindro, el escape y la distribución. El motor de dos tiempos tiene tres lumbreras:

- **Admisión:** el conducto de admisión suele colocarse en la parte trasera del cilindro y por él se distribuye la mezcla a la lumbrera de admisión o, en su caso, a la caja de láminas o válvula rotativa. Algunos modelos usan una combinación de admisión directa más la caja de láminas o válvula rotativa. Por todo ello, las lumbreras pueden situarse desde el cilindro al cárter, incluso por la parte baja del mismo, pudiendo haber más de un orificio de entrada.
- **Carga o transferencia (o *transfer*):** se encarga de traspasar los gases del cárter al interior del cilindro. Se sitúa en la parte alta del cilindro, pero un poco más abajo de la lumbrera de escape. Suele haber más de una y mecanizadas de tal forma que los gases frescos entran con una ligera inclinación hacia arriba.
- **Escape:** es la situada más arriba y, por tanto, la última en cerrarse y la primera en abrirse. Está situada en la zona delantera del cilindro y enfrente de la lumbrera de admisión para favorecer la refrigeración. Lo más habitual es que haya una sola lumbrera de escape.

Cuando la refrigeración es líquida, generalmente las camisas son integrales, pues resulta complicado hacer coincidir las ventanas de las lumbreras del bloque y el cilindro y que, además, no haya fugas de agua. Si la camisa es integral de aluminio, para que soporte bien los desgastes, suele recibir un tratamiento de cromo duro o de partículas de carburo de silicio sobre base de níquel (nikasil). En motores pequeños, el bloque puede ser entero de fundición y el cilindro ir mecanizado directamente, ahorrándose el tratamiento superficial mencionado.

Si la refrigeración es por aire, lo normal es que el bloque sea de aluminio pues es muy buen conductor del calor, y la camisa superpuesta de fundición de hierro, muy resistente al desgaste.

La forma de las lumbreras puede ser muy diferente, pero prevalecen las formas rectangulares con las esquinas redondeadas.

### La culata

**Es el elemento que cierra al cilindro por su parte superior. Además aloja la cámara de combustión, el orificio para la bujía y el inyector, en su caso.**

### Afinidad

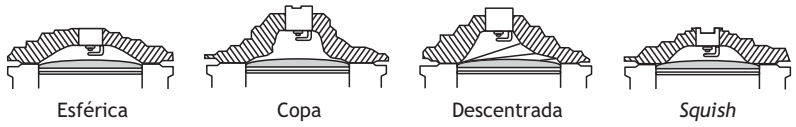
Cuando dos elementos metálicos del mismo material rozan uno contra el otro, tienen más posibilidad de quedarse pegados, produciéndose el gripaje. A esto se le llama afinidad y, por ello, cuando los segmentos y falda del pistón son de un material, la camisa o cilindro deben ser de otro distinto. Generalmente uno de ellos es más blando que el otro y por ello es este el que antes deberá repararse.

La culata dispone del sistema de refrigeración aleteado si es por aire, y con conductos de circulación de líquido en el caso de ser la refrigeración por líquido. Hay culatas refrigeradas por líquido que incorporan un culatín. El culatín es un elemento que contiene la cámara de combustión y se sujeta a la culata y al bloque por medio de tornillos. Entre el culatín y la culata circula el líquido refrigerante. Existe la posibilidad de cambiar este elemento por otro con una cámara diferente, por lo que se tendría una relación de compresión distinta variando también el rendimiento.

Algunos modelos muy mejorados incorporan un culatín que se puede desplazar hidráulicamente, ofreciendo la posibilidad del cambio en la relación de compresión, dependiendo de las exigencias del motor y sin tener que desmontar este.

La culata tiene una especial importancia porque en ella se aloja parte de la cámara de combustión (el resto lo forma la cabeza del pistón), y del diseño de esta depende buena parte del rendimiento del motor. Por ello se tienen diferentes tipos de configuración:

– **Culata con cámara esférica:** la cámara esférica tiene menor superficie y, por tanto, pérdidas de calor, por lo que ofrece buen rendimiento. Tiene el inconveniente de que en las esquinas se producen puntos fríos que dificultan la combustión y provoca la aparición de la detonación.
– **Culata con cámara en forma de sombrero de copa:** presenta una zona llamada de *squish* que impide la aparición de puntos fríos ya que en las esquinas se crea una circulación continua de los gases.
– **Culata con cámara descentrada:** produce buena turbulencia pero tiene mayor superficie.
– **Culata con cámara de *squish*:** muy similar a la cámara esférica, pero más cerrada por los laterales para favorecer la circulación de gases y eliminar los puntos fríos.




**13.13.** Cámaras.

## Junta de culata

**La junta de culata realiza la estanqueidad entre la culata y el cilindro. En los circuitos refrigerados por agua, además debe hacer hermético el circuito de refrigeración.**

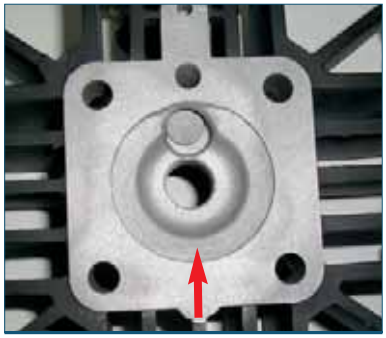
La junta en motores de dos tiempos es similar a los motores de cuatro tiempos en algunos casos. En otros casos son juntas tóricas elásticas que impiden las fugas de líquido. Algunos motores no tienen junta y la culata ajusta perfectamente en un reborde de la camisa del cilindro. En todo caso, si existe junta, lleva una posición específica, que generalmente va marcada con una inscripción en la zona superior (TOP, UP, etc.) o tiene una forma determinada que impide la colocación errónea.

**13.9.** Culata refrigerada por líquido. Parte exterior.

**13.10.** Culata refrigerada por líquido. Parte interior.

**13.11.** Culata refrigerada por aire. Parte exterior.

**13.12.** Culata refrigerada por aire. Parte interior.

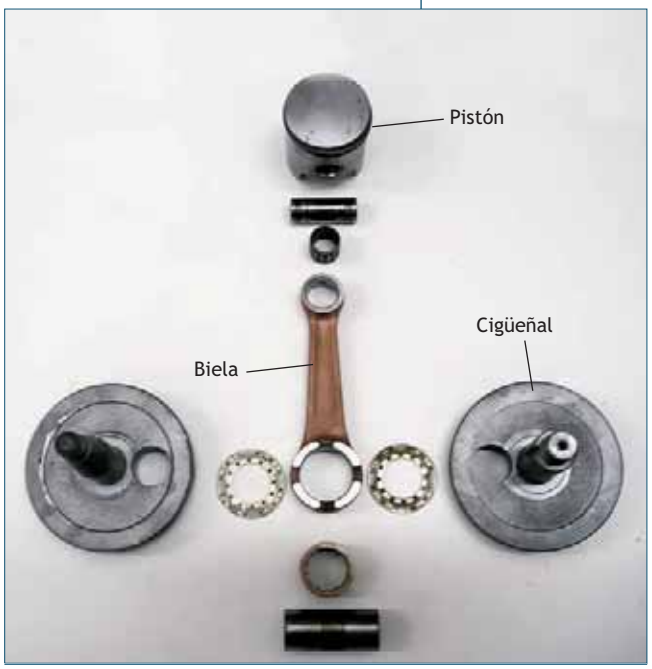


13.14. Zona *squish*.

13.15. Junta metálica.

13.16. Junta tórica elástica.

Casi todas las juntas de culata se fabrican a partir de fundición de aluminio donde se mecaniza la cámara de combustión. En algunos casos puede ser de la misma fundición que los cilindros. En este último caso se abaratan los motores.




13.17. Elementos móviles.

## 2.2 > Elementos móviles

Igual que en los motores de cuatro tiempos, el movimiento alternativo se transforma en rotativo. El conjunto de todos los elementos que forman parte de esta transformación son: el pistón con sus segmentos, la biela, el cigüeñal, los elementos de unión y el equilibrador dinámico cuando exista.

### El pistón

En el caso de los motores de dos tiempos, el pistón adquiere una gran importancia, porque tiene que realizar las siguientes funciones:

- Compresión, precompresión, admisión y escape de los gases.
- Controla la distribución, con las aperturas de las lumbreras.
- Transforma la energía calorífica en mecánica a través de la presión que se ejerce sobre la cabeza del mismo.
- Es una pieza clave en la evacuación del calor a través de las paredes del cilindro.

13.18. Forma típica del pistón.

Las partes principales del pistón se describen a continuación:

- **Cabeza del pistón**: es la zona superior del mismo, donde se produce todo el empuje de la presión que ejercen los gases para la transformación del movimiento. La cabeza suele tener forma plana o algo abombada. En pequeños motores, la cabeza puede tener un deflector que ayuda a los gases, que entran por la lumbrera de transferencia, a dirigirse hacia las zonas adecuadas. Este último tipo se usa poco porque la cabeza junto con la culata forman la cámara de combustión, y la forma del volumen de la cámara, en este caso, es poco eficiente. La cabeza suele llevar inscrita una flecha, que indica la dirección del montaje, debiéndose orientar generalmente hacia la lumbrera de escape.

– **Falda del pistón:** se encarga de servir de guía al pistón y de abrir y cerrar las lumbreras. A veces tiene recortes laterales para evitar el choque en el PMI con los volantes del cigüeñal. También puede tener aperturas laterales para controlar todo o parte del barrido y de la admisión. Sobre dos extremos opuestos de la falda se sitúan los apoyos del bulón que transmitirá la fuerza a la biela. Estos apoyos están descentrados para que el bulón se situé igualmente descentrado en dirección al sentido de giro y evitar que el motor gire en sentido contrario.

Para la fabricación de los pistones se utilizan aleaciones ligeras de aluminio y silicio con pequeñas partes de cobre, níquel y magnesio. Se fabrican de fundición y posteriormente se mecanizan. También pueden llevar un tratamiento superficial. Tienen que ser ligeros, evacuar bien el calor, resistir los esfuerzos mecánicos, tener baja dilatación térmica y ser resistentes al desgaste.

### Los segmentos

El motor de dos tiempos suele llevar dos segmentos de compresión, y en algunos casos, en competición, solamente uno con el fin de reducir la fricción. También ha habido modelos de tres segmentos. La misión es la de hacer estanca la cámara de compresión cuando se produce la compresión y la explosión. La sección típica de los segmentos es en forma rectangular o de L. A diferencia de los cuatro tiempos, los segmentos no se pueden mover libremente, pues coincidiría con las aperturas de las lumbreras y se romperían. Por ello, en zonas adecuadas del pistón se practican unos orificios en los que se introducen unos tetones o topes cilíndricos, que colocados en la apertura de dilatación del segmento, impiden su movimiento. También puede tener el pistón un saliente que hace la misma función. Estos salientes que impiden el movimiento del segmento se sitúan generalmente hacia la parte de la admisión, pues en el escape se alcanzan temperaturas más altas que pueden provocar la destrucción de los mismos. Para garantizar el contacto con la camisa, a veces se introduce un anillo entre el pistón y el segmento que actúa de muelle.

Se pueden encontrar de diversos tipos de aceros y de fundiciones de hierro aleadas; también depende del tipo de material del que esté fabricada la superficie de la camisa. Otros segmentos pueden tener un recubrimiento especial de grafito en la parte de contacto con la camisa. El grafito actúa como autolubricante, por lo que el gripaje por falta de lubricación es más difícil.

## La biela

La biela del motor de dos tiempos tiene la misma función y las mismas partes que en los motores de cuatro tiempos. No obstante, en cuanto a su fabricación, tiene alguna diferencia frente a las de cuatro tiempos:

– Se fabrican de una sola pieza cuando el cigüeñal es desmontable, lo que permite aligerar la cabeza. Pero a su vez son más largas que en cuatro tiempos, debido a que se necesita una longitud mínima para la apertura y cierre de lumbreras.
– La unión a los bulones del pistón y el cigüeñal se hace con rodamientos de agujas cuando el cigüeñal es desmontable y con cojinetes de jaula de agujas cuando son policilíndricos con cigüeñal no desmontable.

**13.19.** Segmentos del motor de dos tiempos.

**13.20.** Pistón con el segmento acoplado.

**Bielas**

Lo ideal son bielas cortas para que las inercias sean pequeñas, pero esta longitud corta no permitiría la distribución más adecuada. Los fabricantes adoptan una solución de compromiso entre estas dos situaciones.

**13.21.** Tipos de bielas.

**Práctica 6**

**Práctica 16**

### Cigüeñal

La forma del cigüeñal de los motores de dos tiempos también se puede usar en motores de cuatro tiempos de un solo cilindro.

**13.22.** Cigüeñal.

### Rodamientos

Como el cárter es seco, no se pueden utilizar cojinetes. Por ello se usan rodamientos y esto conlleva que el cigüeñal tenga que ser desmontable.

### Retenes

En motores de dos o más cilindros, hay que colocar retenes para la estanqueidad entre cárteres. En estos casos la apertura de los cárteres suele ser horizontal y los rodamientos llevan unos tetones que impiden el movimiento de los mismos.

– Se suele practicar un orificio en el pie y una canaladura en la cabeza, con el fin de que la niebla de lubricante penetre y lubrique los rodamientos de agujas. También puede incorporar unas arandelas antifricción laterales, tanto en el pie como en la cabeza, para evitar el rozamiento con el bulón y cigüeñal respectivamente.

Se fabrican por estampación con aceros aleados con cromo, níquel y molibdeno que le confieren propiedades de resistencia y cierta elasticidad. Posteriormente se mecanizan los orificios de la cabeza, del pie y orificios o entalladuras de engrase. Los interiores de los orificios mecanizados se someten a un proceso denominado cementación para aumentar su dureza.

## El cigüeñal

**El cigüeñal es el elemento encargado de transformar el movimiento alternativo en rotativo, pero en los motores de dos tiempos, tiene una configuración diferente al de cuatro tiempos.**

En primer lugar, el cigüeñal es desmontable, es decir, no es de una sola pieza. Este se apoya sobre dos rodamientos, generalmente de bolas, que se sitúan a ambos lados del cárter. Para hacer la unión estanca, se coloca un retén a cada lado del rodamiento. La unión con la biela se realiza mediante un rodamiento de agujas. Este rodamiento es necesario para reducir la altura de la cabeza de la biela y para que la lubricación por niebla sea efectiva. Las diferentes partes de un cigüeñal para un solo cilindro se muestran en la figura 13.25.

Los **contrapesos** del cigüeñal pueden ser circulares o en forma de hacha y tienen una triple función:

– Equilibrar las masas.
– Actuar como volante de inercia para absorber las vibraciones.
– Ocupar volumen en el cárter. Ya se ha comentado que para que la precompresión y transferencia de los gases sea buena, el volumen de acumulación de gases en el cárter debe ser lo menor posible.

Por estas razones lo habitual, sobre todo en pequeños motores, es que el motor no lleve volante de inercia y el cigüeñal disponga de dos contrapesos circulares.

El cigüeñal, cuando es desmontable, se puede dividir en sus dos partes principales llamadas **semicigüeñales**. Estos se unen a través del eje de enlace. Los brazos de los semicigüeñales pueden tener forma cilíndrica o cónica. Esta última versión asegura un mejor agarre de los elementos que se unan a dichos brazos. También puede llevar practicado en los laterales unos piñones o chaveteros, que sirven para la transmisión de potencia (transmisión primaria) o movimiento de elementos auxiliares como el alternador. El **eje de enlace** sirve de apoyo a la cabeza de la biela y sus extremos se colocan a presión en los semicigüeñales. Hay que cambiarlo cada vez que se desmonta el cigüeñal.

Cuando el cigüeñal no es desmontable (algunas versiones de varios cilindros) es similar a uno de cuatro tiempos.

Se fabrican de materiales resistentes como el acero, aleado con magnesio, níquel, cromo, etc., que le confieren propiedades de resistencia y elasticidad.

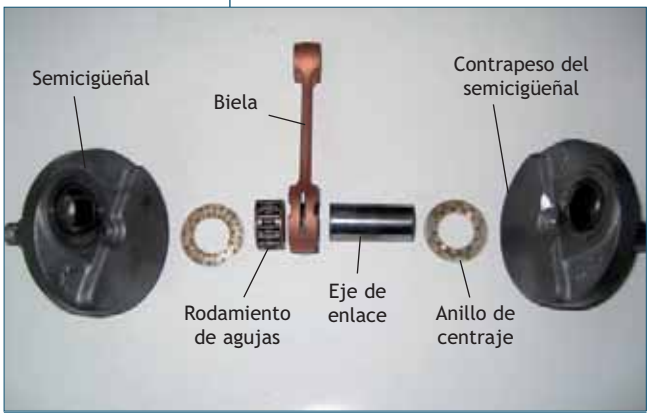
### Los elementos de unión y apoyo

Ya se ha comentado las diferencias en las uniones biela-pistón y biela-cigüeñal, y a continuación se muestran los elementos que intervienen en cada caso.

– **Unión biela-pistón:** rodamiento de agujas, bulón y anillo de retención. El montaje del bulón es de tipo flotante de forma que este queda libre de la biela y del pistón. El montaje en el pistón se hace en frío con una ligera presión. El anillo de retención impide el movimiento lateral del bulón y que este pueda dañar la camisa del cilindro.
– **Unión biela-cigüeñal:** rodamiento de agujas, eje de enlace y anillos de centraje.

**13.23.** Rodamiento de bolas.

**13.24.** Uniones pistón-biela.




**13.25.** El cigüeñal y su unión con la biela.

El montaje es similar al de la zona del pistón, con la salvedad de que en este caso el eje de enlace se monta a presión sobre los semicigüeñales, y no gira respecto de estos. Puede llevar unos anillos denominados de centraje o antifricción.

Otros elementos son:

– **Rodamientos de bolas:** se usan para apoyar el cigüeñal sobre el cárter.
– **Retenes:** colocados al lado de los rodamientos, tienen la misión de no permitir la comunicación de gases o líquidos a través de los ejes, permitiendo que estos giren libremente.

**13.26.** Rodamiento de agujas.

### El equilibrador dinámico

> **El equilibrador dinámico equilibra las vibraciones que se producen como consecuencia de las inercias secundarias que originan los contrapesos en zonas intermedias entre el PMS y el PMI.**

Se puede alojar en el cárter anterior o posterior.

El equilibrador gira en sentido contrario al cigüeñal, movido por este a través de unos engranajes que en ocasiones pueden contener unos muelles que amortiguan más las vibraciones.

**13.28.** Equilibrador dinámico.

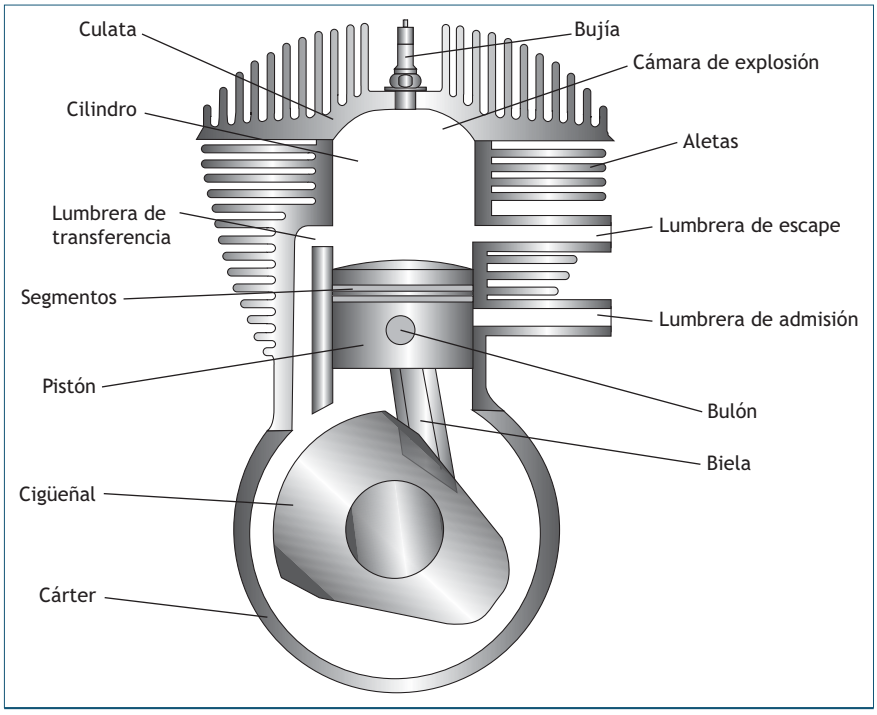
**13.27.** Retén.

## 3 >> Funcionamiento de los motores de dos tiempos

**Este tipo de motores se diferencia del de cuatro tiempos en que no llevan distribución y la admisión y escape se realiza por unos huecos practicados en el bloque o cárter llamados lumbreras. Además, la mezcla está compuesta de aire, gasolina y aceite de lubricación.**

Como en todo motor alternativo, el movimiento alternativo del pistón en el interior del cilindro, se transforma en rotativo mediante el mecanismo biela-manivela, que hace girar el cigüeñal. En este movimiento, el pistón abre y cierra las lumbreras y marca los tiempos de admisión y escape.

El motor se denomina de dos tiempos porque el ciclo de trabajo completo se desarrolla en dos carreras del cilindro, o una vuelta del cigüeñal, tal y como se describe a continuación.




**13.29.** Esquema básico del motor de dos tiempos.

Suponiendo inicialmente el cilindro en el PMS con una cantidad de mezcla comprimida, saltará la chispa y se producirá el ciclo de **trabajo** hasta que se descubra la lumbrera de escape. Desde este momento y hasta que el pistón llegue al PMI, los gases quemados salen por el **escape** y los frescos, acumulados en el cárter, entran por la lumbrera de **transferencia** empujados por el pistón en su movimiento descendente **(precompresión)**. A continuación, el pistón avanza hacia el PMS, cerrando la lumbrera de transferencia y la de escape. En este momento finaliza la transferencia y el escape (por este orden) y empieza la **compresión** de la mezcla en el cilindro. Al mismo tiempo, en el cárter se genera una depresión que provoca la entrada de más gases frescos desde el carburador para el siguiente ciclo.

### Mezcla

La mezcla comprimida en los motores de dos tiempos se compone de aire, gasolina y aceite de lubricación. El porcentaje de aceite, disuelto en gasolina, suele ser de entre un 2 a un 5%.

### Precompresión

La precompresión puede considerarse una fase más del ciclo. En este caso tendría cinco fases: admisión, compresión, trabajo, escape y precompresión.

### Lumbrera de transferencia

A las lumbreras de transferencia también se las denomina lumbreras de carga o *transfer*.

## Casos prácticos

### Potencia en motores de dos y cuatro tiempos

•• Dos motores de un cilindro, uno de cuatro tiempos y otro de dos tiempos, están girando a 2 000 rpm.

¿Cuántos ciclos de trabajo realiza el motor de cuatro tiempos en un minuto? ¿Y el de dos tiempos?

Los datos aportados son:

n = 2 000 rpm
t = 1 min

Nota: Las revoluciones de un motor se miden en el cigüeñal, por lo que 2 000 rpm = 2 000 vueltas del cigüeñal cada minuto.

**Solución** •• Se puede plantear de la siguiente forma:

El motor de cuatro tiempos realiza un trabajo cada dos revoluciones del cigüeñal, por lo que en 2 000 revoluciones realizará:

1 trabajo ⇒ 2 revoluciones

X trabajos ⇒ 2 000 revoluciones

$$X = \frac{2\,000 \cdot 1}{2} = 1\,000 \text{ trabajos}$$

Pero el motor de dos tiempos realiza un trabajo cada revolución del cigüeñal, por lo que en 2 000 revoluciones realizará:

1 trabajo ⇒ 1 revolución

X trabajos ⇒ 2 000 revoluciones

$$X = \frac{2\,000 \cdot 1}{1} = 2\,000 \text{ trabajos}$$

La conclusión es que, teóricamente, el motor de dos tiempos tiene el doble de potencia, pues realiza el doble de ciclos de trabajo en el mismo tiempo.

La realidad es que, para el mismo tamaño de motor e igual relación de compresión, el llenado de los cilindros es mejor en el de cuatro tiempos que en el de dos tiempos, por lo que la presión final que se alcanza en el dos tiempos es menor, y la potencia también.

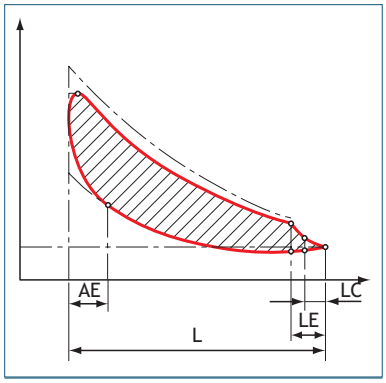
Como conclusión final se tiene que un motor de dos tiempos tiene mayor potencia que uno de cuatro tiempos de igual tamaño, pero no el doble.

## 3.1 > Ciclos teórico y práctico de los motores de dos tiempos

El ciclo de dos tiempos comprende cuatro fases, o cinco si se considera la precompresión, igual que un motor de cuatro tiempos. El teórico será un ciclo otto normal como el que se muestra y el práctico similar al de uno de cuatro tiempos, con alguna pequeña diferencia.

### Fases del ciclo

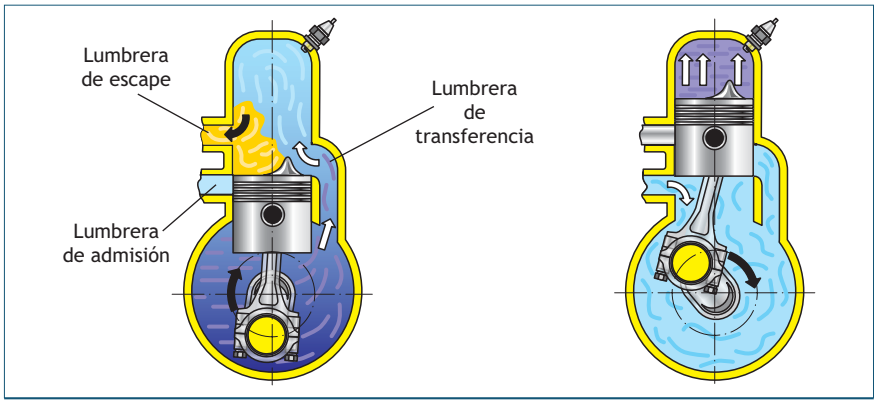
El ciclo completo se puede dividir en los dos tiempos de que consta, teniendo en cuenta que un tiempo corresponde a todos los sucesos o fases que ocurren en una carrera.




**13.30.** Ciclo teórico (en línea discontinua) y práctico o real.

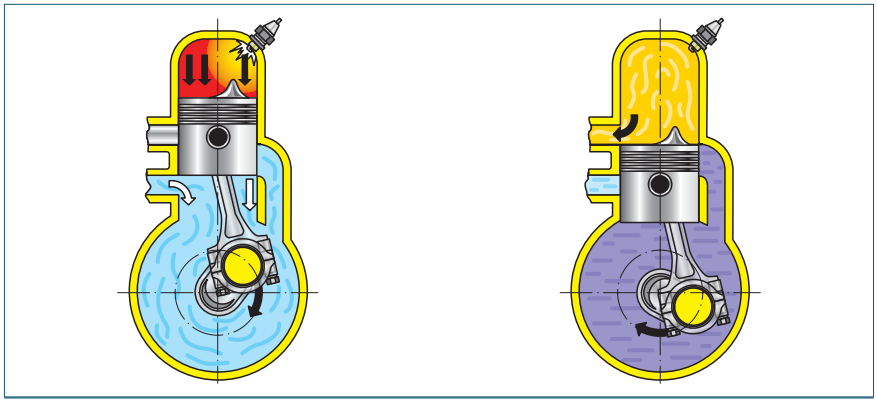
- L Carrera
- AE Avance al encendido
- LE Distancia PMI a la lumbrera de escape
- LC Distancia PMI a la lumbrera de transferencia

– **Primer tiempo:** sucede cuando el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Durante parte de esta carrera aún se está produciendo el escape y la carga, hasta que se cierran las lumbreras de transferencia y escape. El pistón sigue avanzando y a la vez que va descubriendo la lumbrera de admisión, se va produciendo la compresión de la mezcla del cilindro. El pistón, en su trayecto hacia el PMS, crea una depresión en el cárter que provoca la entrada de gases frescos para el siguiente ciclo. Un poco antes de que el piston llegue al PMS, salta la chispa y provoca la combustión de la mezcla. Todo ello ha sucedido en media vuelta del cigüeñal.




**13.31.** Fases del primer tiempo.

– **Segundo tiempo:** durante la segunda carrera, el piston desciende desde el PMS al PMI debido a la alta presión que genera la combustión, produciendo el trabajo del ciclo. Cuando el pistón descubre la lumbrera de escape, finaliza el trabajo, y a la vez se está produciendo la precompresión en el cárter, pues también se cierra la lumbrera de admisión. Despues se descubre la lumbrera de transferencia y los gases frescos precomprimidos del cárter salen por la lumbrera de transferencia, ayudando a desalojar los gases quemados y llenando el cilindro de gases frescos para el inicio del siguiente ciclo. Cuando el pistón llega al PMI se finaliza el segundo tiempo y con ello el cigüeñal ha girado otros 180°, lo que totaliza una vuelta completa. El barrido y llenado de gases es uno de los mayores problemas que tienen los motores de dos tiempos y le afecta principalmente el diseño de lumbreras.



**13.32.** Fases del segundo tiempo.

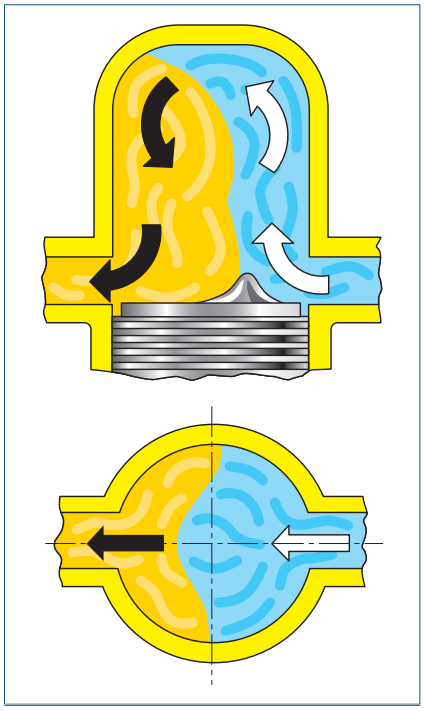
### Datos técnicos

Los datos técnicos de cilindrada, carrera, etc., son similares y se calculan igual que en los motores de cuatro tiempos. A veces, sobre todo los fabricantes japoneses, indican la relación de compresión real como un dato más. Este dato se obtiene considerando como volumen unitario el contenido en el cilindro cuando se cierra la lumbrera de escape.

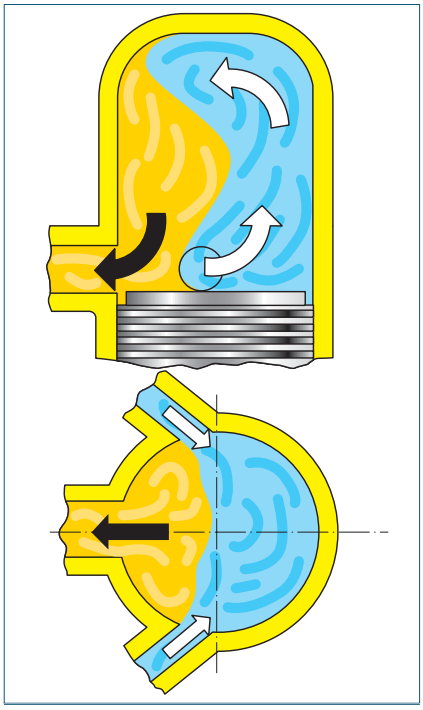
### Tipos de barrido y escape

Ya se ha comentado que el barrido y la admisión son de suma importancia. La clave está en que la cantidad de combustible que salga sin quemar por el escape sea lo menor posible, además de que la mezcla sea homogénea y el llenado del cilindro lo más alto posible. En el barrido juegan un papel importante las lumbreras y el pistón. Existen dos tipos de barridos más comunes, el barrido por cárter y el barrido independiente, pero este último apenas tiene aplicación en pequeños motores de ciclo otto, siendo habitual su uso en grandes motores diésel de dos tiempos.

– **Barrido por cárter:** cuando el pistón en su descenso abre la lumbrera de transferencia, los gases frescos empujan a los quemados. Lo ideal sería que todos los gases quemados saliesen y que ningún gas fresco se escapase. Para realizar esto de la forma más efectiva hay varios métodos, según la dirección que toman los gases al penetrar en el ciclindro y al salir por el escape. Se exponen los dos más importantes:
  - **Barrido transversal:** se basa en colocar las lumbreras de transferencia y escape en oposición dentro del cilindro, ayudado por la forma de la cabeza del pistón, que deflecta la mezcla hacia arriba. Este método se usa poco hoy en día y, en su caso, para motores de pequeña cilindrada y pocas prestaciones, ya que resulta muy económico.
  - **Barrido tangencial o por lazo:** hay varias versiones, pero la más conocida se llama *schnürle:* consiste en que los gases entran de forma tangencial al cilindro por más de una lumbrera de transferencia, dirigiéndose hacia el lado contrario de la lumbrera de escape y ligeramente hacia arriba. Este método elimina mejor los gases que el anterior y refrigera mejor la cabeza del pistón. Además no necesita ayuda del deflector de la cabeza del pistón.



**13.33.** Barrido transversal.



**13.34.** Barrido tangencial o por lazo.

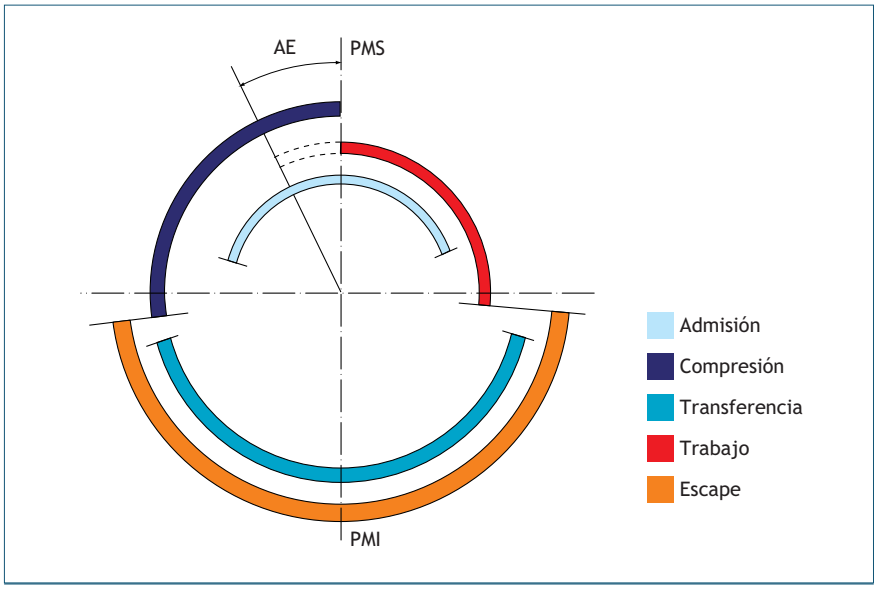
**13.35.** Escape de motor de dos tiempos.

– **Escape:** aunque la salida de gases quemados siempre está gobernada por la lumbrera de escape, la forma del escape (tubo de escape) influye en el rendimiento del motor, pues la salida de gases provoca ondas de presión positivas y negativas. Si el escape está bien calculado, las ondas de presión negativas ayudan a desalojar los gases quemados y, por tanto, mejoran el rendimiento volumétrico. La forma del escape es divergente-convergente como se muestra en la figura 13.35. Los motores modernos incorporan a la salida de la lumbrera de escape unas válvulas llamadas **válvulas parcializadoras** que reducen o amplían la sección de salida, o **resonadores** que comunican unos conductos para alargar la longitud del escape. Estos sistemas se regulan dependiendo de la carga y revoluciones del motor.

### Diagramas de distribución

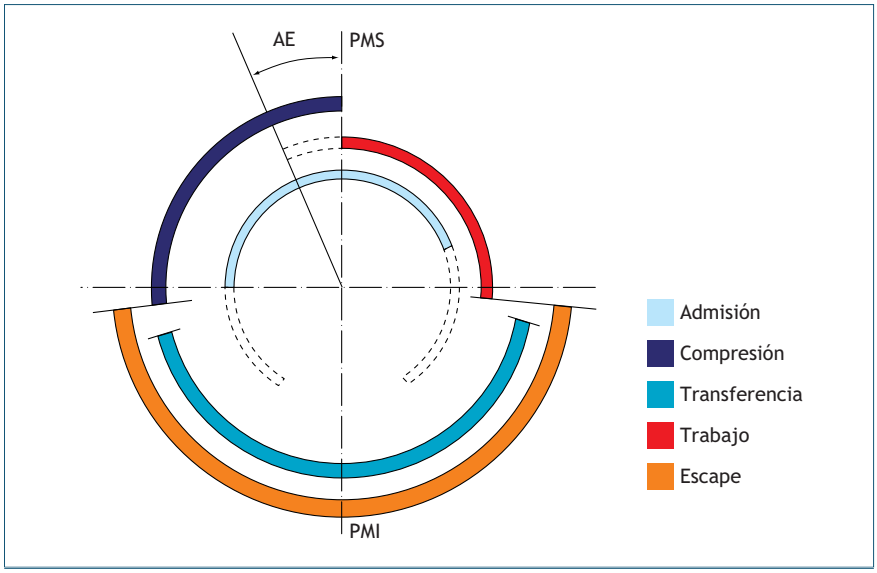
En motores de dos tiempos, todas las fases del ciclo se producen en una sola vuelta del cigüeñal, por lo que al ser más rápido, el tiempo para el proceso de admisión y barrido es menor. Al ser la posición de las lumbreras fija, el diagrama de distribución dependerá de la posición de estas y, en su caso, de otros dispositivos adicionales. Atendiendo a esto, se tiene:

– **Diagrama simétrico:** sucede cuando la entrada de gases frescos al cárter es directa por la lumbrera de admisión (alimentación por falda del pistón). En estas condiciones, al ser las lumbreras orificios fijos, el diagrama será simétrico respecto del PMI y del PMS. Por ejemplo, si el pistón está subiendo y cierra una lumbrera a una distancia X del PMS, cuando comience a bajar y recorra la mencionada distancia, la lumbrera se abrirá. Los procesos de escape, admisión y transferencia del ciclo serán simétricos respecto de los puntos muertos. Los fabricantes intentan diseñar la posición, forma y tamaño de las lumbreras en función de las revoluciones previstas de máximo tiempo de funcionamiento. En la figura 13.36 se observa un diagrama de distribución simétrico.




**13.36.** Diagrama simétrico.

– **Diagrama asimétrico:** en este caso, el diagrama no es simétrico respecto de los puntos muertos. Para conseguir esto, se utilizan dos métodos:
  - **Alimentación por caja de láminas:** consiste en un soporte agujereado sobre el que se montan unas láminas muy elásticas, que pueden ser de materiales plásticos, de fibra de carbono, de fibra de vidrio o metálicas, y unos topes para limitar la apertura. Estas láminas son fijadas a la caja en uno de sus extremos, quedando libre el otro. El conjunto se monta entre el carburador y el cárter (admisión por cárter) o entre el carburador y el cilindro (admisión por cilindro), en este último caso, muy próximo a la lumbrera de admisión.
    Cuando el pistón asciende, en el cárter se genera una depresión, la cual despega las láminas de la caja por diferencia de presión y provoca la entrada de la mezcla. Con ello se consigue que la admisión de los gases frescos no dependa del recorrido del cilindro sino de la depresión generada por el mismo. Esto hace que en el cárter puedan entrar gases frescos siempre que la presión de salida del carburador o sistema de alimentación sea mayor que la del cárter. Además impide el retroceso de gases frescos hacia el carburador en la fase de precompresión.
    Este método consigue tener más tiempo abierta la admisión, por lo que el llenado en el cárter es mejor y, por tanto, también el rendimiento volumétrico y el general del motor.
  - **Alimentación con válvula rotativa:** en este caso, la entrada es por el cárter, y está gobernada por un disco que gira solidario al cigüeñal, y en el cual se ha practicado una apertura más o menos grande dependiendo del diseño del fabricante. La mezcla, entra por el conducto de admisión, y pasará al cárter únicamente cuando se encuentre con el orificio practicado en el disco.
    Este método permite al fabricante colocar y elegir el número de grados de la apertura de admisión que más le interese. El resultado final es un diagrama generalmente asimétrico y que dependerá de las prestaciones que se le quieran dar al motor.




**13.39.** Diagrama asimétrico.

**13.37.** Admisión por cárter.

**13.38.** Caja de láminas.

### Válvula rotativa

Se puede variar las prestaciones del motor cambiando el disco que hace de válvula rotativa: para altas revoluciones, típico en competición, aperturas grandes y para bajas revoluciones, típico de motores de poco consumo, aperturas pequeñas.

### Normas Euro

Estas normas de anticontaminación son cada día más exigentes. A los motores de dos tiempos les afecta principalmente por la emisión de HC. La norma a fecha de enero de 2008 es la Euro IV, y permite una emisión de HC de 0,10 g/km según un test normalizado de conducción. La Euro V, que se prevee que entre en vigor en 2008/2009 tiene estipulado un límite de emisión de HC de 0,075 g/km.

## 3.2 › Desventajas más importantes del motor de dos tiempos

A primera vista parece que el motor de dos tiempos es mejor que el de cuatro tiempos, porque a igualdad de tamaño, tiene mayor potencia, es más sencillo y más económico, lleva menos piezas móviles que roban potencia al motor y se pueden averiar, tiene menos elementos auxiliares, etc.

Todo ello choca drásticamente con dos grandes inconvenientes:

– **Menor rendimiento**: como es un motor de explosión, los gases frescos contienen aire y combustible, en su proporción adecuada. Cuando se realiza el barrido y los gases frescos acumulados en el cárter empujan a los quemados para desalojarlos, es inevitable que parte de esos gases frescos se salgan por el escape. Estos gases que se escapan llevan combustible, el cual se arroja a la atmósfera. Ello repercute en un menor rendimiento térmico. También afecta al rendimiento el peor llenado de los cilindros y el hecho de tener que precomprimir la mezcla. Esta desventaja no afecta a los pequeños motores, pues aunque el consumo sea un poco más elevado, la sencillez y el coste más bajo, los hacen muy competitivos comercialmente.

– **Mayor contaminación**: el combustible tirado a la atmósfera es un hidrocarburo (HC) muy contaminante. A esto se suma el lubricante que acompaña al combustible y que por su condición no suele quemarse por completo. Las normativas Euro recientes de anticontaminación que obligan a cumplir los países, están siendo tan estrictas que, o se soluciona el problema de los HC, o veremos desaparecer los motores de dos tiempos de explosión.

Para las dos desventajas anteriores, los frabricantes intentan rebajar al máximo los hidrocarburos, con diseños novedosos de lumbreras, pistones, inyección directa, etc.

## Casos prácticos

### Emisión de hidrocarburos

•• Cierto motor de dos tiempos consume como media 2 kg/100 km de gasolina con un 3% de mezcla de aceite. Se sabe que este tipo de motores echa por el escape, y sin quemar, el 10% de la gasolina consumida y el 20% del aceite de lubricación.

Calcula la cantidad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera cuando se han recorrido 30 000 km.

### Solución ••

$\frac{2\ \text{kg}}{100\ \text{km}} \cdot 30\,000\ \text{km} = 600\ \text{kg}$ de gasolina consumida; $600 \cdot \frac{3}{100} = 18\ \text{kg}$ de aceite consumido

$600 \cdot \frac{10}{100} = 60\ \text{kg}$ de gasolina sin quemar; $18 \cdot \frac{20}{100} = 3{,}6\ \text{kg}$ de aceite sin quemar

HC sin quemar en 30 000 km = 60 kg + 3,6 kg = 63,6 kg ó $\frac{63\,600\ \text{g}}{30\,000\ \text{km}} = 2{,}12\ \frac{\text{g}}{\text{km}} = \frac{212\ \text{g}}{100\ \text{km}}$

Este dato no concuerda con el mencionado de las normas Euro, debido a que no se ha realizado el test normalizado.

## 4 >> Refrigeración y engrase

Ya se ha comentado que uno de los objetivos principales en la fabricación de motores de dos tiempos es hacerlos económicos. Es por ello que, en la mayoría de modelos y en especial los de pequeña cilindrada, usarán sistemas muy sencillos tanto de lubricación como de refrigeración.

### 4.1 > Refrigeración

El sistema típico de refrigeración para pequeñas cilindradas es por aire. Para motores mayores, puede ser por aire o agua. Los sistemas de refrigeración se tratan ampliamente en la unidad didáctica 15.

### 4.2 > Lubricación

Exceptuando algún modelo, en la mayoría de motores de dos tiempos de explosión, la lubricación se realiza añadiendo el aceite al combustible, de forma que cuando este entra al cárter, se pega a las paredes y órganos metálicos y los lubrica. La mezcla puede ser:

– **Mezcla exterior**: se mezcla en el depósito de combustible el porcentaje de aceite recomendado por el fabricante. En esta situación el porcentaje de mezcla no cambia con las revoluciones, pero el procedimiento es muy sencillo. Se usa para motores de pequeña potencia.
– **Mezcla en el interior**: consiste en añadir la cantidad de aceite necesaria para cada régimen y carga del motor. Para ello hay que disponer de un dispositivo dosificador de aceite. La inyección de aceite se hace después del carburador y antes de la lumbrera de admisión, de forma que cuando la mezcla entre en el cárter contenga la cantidad idónea de lubricante. El sistema de alimentación de aceite consta de un depósito y una bomba, mandada por el acelerador y movida por el cigüeñal a través de unos engranajes, que suministra la cantidad necesaria de aceite.

## Casos prácticos

### Dosificación de aceite

•• Si un sistema de dosificación de lubricante inyecta entre 2 y 5% de aceite para 1 000 y 10 000 rpm respectivamente, ¿qué valor inyectará para 5 000 y 8 000 rpm suponiendo que es proporcional?

**Solución** •• En 9 000 rpm (10 000 – 1 000 = 9 000) la inyección de aceite pasa de valer un 2% a un 5 %, es decir, aumenta 3 puntos. Por cada 9 000 revoluciones aumenta 3 puntos. Por cada 1 000 revoluciones aumentará 3/9% ó 1/3%.

Para llegar a 5 000 rpm, a 1 000 rpm (2% de aceite) se incrementan otras 4 000 rpm (4 · 1/3% de aceite), por lo que al final se tiene:

$$2\% + 4/3\% = 3{,}33\%$$

Razonando igualmente para 8 000 rpm, se tiene:

$$2\% + 7 \cdot 1/3\% = 4{,}33\%$$

## 5 >> Verificaciones del motor de dos tiempos

### El cárter

Siempre hay que seguir las recomendaciones del fabricante. No obstante los cárteres no suelen ser objeto de demasiadas verificaciones, ya que un defecto generalmente conlleva el cambio del mismo. En las operaciones de montaje y desmontaje hay que tener en cuenta los siguientes detalles:

– Sustituir siempre los retenes.
– No hacer palanca para la apertura de los semicárteres. Hay herramientas especiales.
– Comprobar que los dos semicárteres se separan de la misma forma por todos los lados y realizar esta operación lentamente. En general se pueden dar **ligeros** golpes con una maza de plástico.
– Sustituir las juntas que procedan según las recomendaciones del fabricante.
– Realizar los aprietes con el par que indique el fabricante y, en su caso, con el orden indicado.

### El cilindro

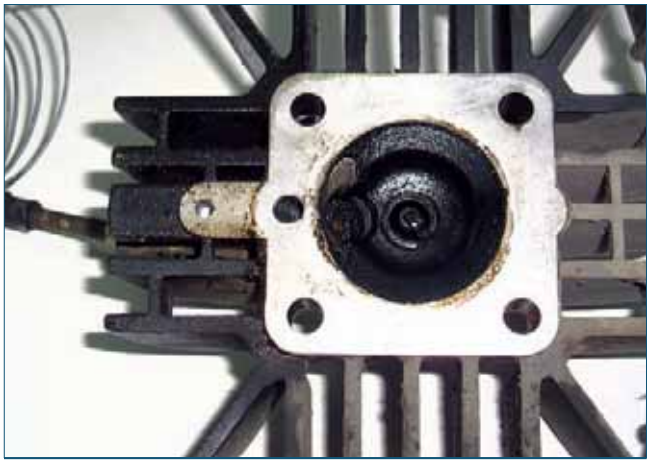
Las verificaciones que se pueden hacer en un bloque y su cilindro son similares a los motores de cuatro tiempos, como la planitud, ovalización, conicidad, etc.

Además se pueden tener en cuenta las siguientes operaciones de mantenimiento:

– Limpieza de aletas de refrigeración mediante aire comprimido o con pinceles.
– Limpieza de la carbonilla depositada principalmente en la lumbrera de escape. Hay que rascar con un elemento blando, por ejemplo con cobre, sin rayar la superficie del metal.
– Encamisado y rectificado cuando sea necesario. Es una operación delicada, pues los orificios de las lumbreras deben de coincidir con la posición original.

Práctica 15

**13.40.** Carbonilla en lumbrera de escape.



**13.41.** Carbonilla en culata.

- Encamisado: se realiza calentando el bloque durante unos 15 minutos a 350 °C. Con ello se consigue que se separe la camisa del bloque por dilatación térmica y es fácil extraerla. La operación de montaje se hace igualmente con el bloque caliente y la camisa fría. Para evitar que en el enfriamiento se desalineen las lumbreras, se coloca el bloque encamisado bajo presión en una prensa.
- Rectificado: operación similar a los motores de cuatro tiempos con la salvedad de que en este caso existen lumbreras y, una vez finalizada la operación de rectificado, habrá que pulir sus aristas.

### La culata

En la culata de motores de dos tiempos puede aparecer carbonilla. La acumulación de carbonilla disminuye el volumen de la cámara de combustión y aumenta la relación de compresión, lo que puede provocar que aparezca el picado y el deterioro sea más rápido. También es necesario que las aletas de refrigeración estén limpias o, en su caso, que el circuito de refrigeración sea perfectamente hermético. La limpieza se hace de forma similar a como se realiza en el cilindro.

### El pistón

Las verificaciones y reparaciones son similares a las que se hacen en los motores de cuatro tiempos (ver unidad 9), incluyendo en este caso la limpieza de posible carbonilla. En algunas ocasiones, cuando la carbonilla no es excesiva, puede ser beneficioso no limpiar la carbonilla de la falda del pistón, ya que esta ayuda a que la estanqueidad sea mejor, pero siempre se seguirá las recomendaciones del fabricante. En motores de más de un cilindro, a veces es posible la sustitución de uno solo de ellos, aunque lo ideal es sustituir todos.

Si se sustituye un solo cilindro, hay que cerciorarse de que el peso sea igual en todos, para que el equilibrado del cigüeñal sea el correcto.

En motores de dos tiempos es más típico el gripaje debido a que son más rápidos y la lubricación y refrigeración es más crítica que en los cuatro tiempos.

**13.42.** Carbonilla en pistón.

### Los segmentos

Las operaciones son similares a las de los motores de cuatro tiempos, con alguna particularidad:

– Puede haber carbonilla, los aros pueden estar pegados y, por tanto, hay que despegarlos para que queden libres. Se puede eliminar la carbonilla con un pincel y petróleo o con un trozo viejo del segmento.
– Hay que comprobar la correcta posición de los mismos, para que no giren y se encuentren con lumbreras. No es difícil, ya que las aperturas de los segmentos deben coincidir con los topes practicados en el pistón.

**13.43.** Limpieza en el alojamiento de los segmentos.

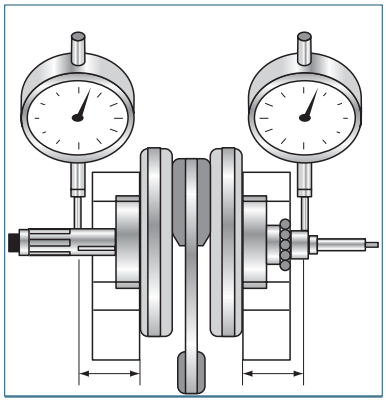
### La biela

En motores de dos tiempos es muy importante el alineado de la biela. Un mal alineado provoca una presión excesiva de la falda del pistón contra las paredes de la camisa y puede producir el gripaje. Otra operación específica de los motores de dos tiempos es la comprobación de las holguras axiales y radiales de la cabeza y el pie de la biela: mide el desgaste del rodamiento de agujas o el de su alojamiento. Si las medidas sobrepasan los valores límite que marca el fabricante, se procederá a cambiar la biela, el rodamiento, el eje de enlace o bulón y los anillos de centraje cuando existan.

### El cigüeñal

La verificación más importante en el cigüeñal es su centrado. Otra comprobación es la holgura axial y radial ya comentada en la verificación de la biela. También puede ser necesario cambiar la biela o los rodamientos de bolas, por lo que habrá que desmontarlo. Para extraer el cigüeñal, generalmente hay que abrir el cárter y este saldrá con sus rodamientos de apoyo.

– **Centrado del cigüeñal:** se coloca sobre unos soportes de puntas o en forma de V, y se sitúa un reloj comparador en cada brazo de cada semicigüeñal (figura 13.46). Se hace girar el cigüeñal y se debe comprobar que en su giro, la diferencia entre los dos relojes no sobrepase un valor determinado que proporcionará el fabricante. Si los valores están fuera de límites, se puede golpear ligeramente los contrapesos con una maza de goma hasta conseguir el centrado. Otra comprobación es la del paralelismo y alineamiento de los contrapesos.
– **Desmontaje y montaje:** el principal inconveniente es extraer el eje de enlace, pues está montado bajo presión. Para extraerlo y montarlo nos ayudamos de una prensa, como se muestra en las figuras 13.44 y 13.45. Es importante marcar las piezas que se van desmontando para no tener problemas en el montaje.



**13.46.** Centrado de cigüeñal.

**13.47.** Carbonilla en tubo de escape.

**13.44.** Desmontaje del cigüeñal.

**13.45.** Cigüeñal desmontado.

### El escape

En el escape también se acumula carbonilla debido a la incompleta combustión del aceite de la mezcla. Se puede limpiar usando agua con sosa (si no existe aluminio) o con productos especiales llamados líquidos descarbonizantes.

## 6 >> Estudio del motor de cuatro tiempos para motocicletas

Los motores de cuatro tiempos para motocicletas son muy similares a los de otros vehículos, como motores de gasolina o explosión, y su estudio ya se ha detallado en las unidades anteriores. A continuación, únicamente se van a exponer los detalles que los diferencian de aquellos motores.

### Disposición y número de cilindros

Se pueden encontrar motocicletas con un solo cilindro, varios en línea, V o *boxer,* dependiendo de las exigencias y diseño de la motocicleta. Existen motores de hasta 6 cilindros.

El gran problema en el diseño es conseguir el equilibrio entre espacio y comportamiento aerodinámico.

### Sistema de refrigeración y engrase

La refrigeración puede ser por líquido refrigerante o por aire, pero para cilindradas y exigencias altas, la refrigeración más común es por líquido. Si se apuesta por la refrigeración por aire para grandes cilindradas, los materiales deben ser más resistentes a las temperaturas, pero en cambio se ahorra el sistema de refrigeración: bomba, radiador, termostato, etc.

El sistema de engrase es muy particular, ya que para ahorrar espacio, se usa el mismo lubricante para la lubricación del motor y para la caja de cambios. Por ello, el aceite debe ser de calidades muy buenas. Viscosidades típicas pueden ser de 10W40, 5W40, 5W50.

### Cilindrada

Los motores de motocicletas no suelen tener grandes cilindradas debido al reducido espacio del que disponen para su ubicación. No es habitual encontrar valores mayores de 1 500 cc. En muchos casos no superan los 700 cc. La única forma de poder incrementar la potencia cuando se tiene una cilindrada determinada es aumentar el número de revoluciones.

**13.48.** Cilindro de motor de cuatro tiempos.

**13.49.** Culata cuatro tiempos, lado cilindro.

### Sistema de distribución

Es muy similar a los comentados en las unidades anteriores. Cabe destacar que cuando hay varios cilindros en línea, la cadena de la distribución, si la hubiera, se situaría en el centro del bloque. Los motores de cuatro tiempos suelen ser de 2, 4 ó 5 válvulas por cilindro, y la distribución puede ser variable, pues el motor trabaja en un margen muy amplio de revoluciones.

### Órganos fijos del motor

Como el tamaño es limitado, los materiales deben ser de muy buena calidad. La camisa o cilindro debe poseer un acabado de mucha dureza, porque al girar a mayor número de revoluciones, el desgaste se hace mayor.

### Órganos móviles del motor

Debido al alto régimen de giro, estos deben ser poco pesados. A su vez deben ser resistentes, por lo que los materiales deben ser de mucha calidad. Por todo ello, los pistones tienen la falda muy corta, la carrera del pistón suele ser más pequeña para reducir las inercias, las bielas se hacen muy ligeras, etc. Por estos motivos, los periodos entre reparaciones y mantenimiento deben ser mucho más cortos, y es típico el desgaste rápido de algunas piezas del motor, en comparación con otros tipos de motores.

### Consecuencias del mayor número de rpm

Ya se ha comentado que las motocicletas llevan motores rápidos para suplir el peso y el poco espacio de que se dispone, y con ello poder conseguir altas potencias. El gran problema de este tipo de motores, es que el desgaste, y con ello el mantenimiento, es mucho mayor que en motores más lentos, incluso aunque se invierta bastante en mejorar los materiales. Por ello no es viable fabricar grandes motores que requieran mucha fiabilidad y que sean rápidos.

**13.50.** Culata cuatro tiempos lado distribución.

**13.51.** Pistón de motor de cuatro tiempos.

## Actividades finales

**1**·· ¿Qué medidas de seguridad tomarías, para evitar daños personales y materiales, si fueras a desmontar un cilindro con su culata y su pistón?

**2**·· ¿Qué valores típicos de relación de compresión puede tener un motor de motocicleta que no sea de competición?

**3**·· Si un motor de 1 000 cc de un turismo de cuatro tiempos tiene 65 CV, ¿cuáles son los motivos por los que una motocicleta, también de cuatro tiempos y 1000 cc, puede tener bastante más potencia?

**4**·· Sabemos que un motor de dos tiempos desarrolla más potencia porque el ciclo de trabajo se efectúa en una sola vuelta del cigüeñal. ¿Por qué motivos crees que la potencia no es el doble que en uno de cuatro tiempos?

**5**·· ¿Qué problemas presenta un motor de dos tiempos en cuanto a contaminación? ¿Con qué técnicas crees que los fabricantes intentan solucionarlo?

**6**·· ¿Cuáles son las diferencias más significativas entre los motores de cuatro tiempos para motocicletas y los de otro tipo de vehículos?

**7**·· ¿Por qué crees que no hay motores diésel para motocicletas? ¿Crees que puede haber posibilidades en un futuro y que no sean solo prototipos? ¿En qué crees que los fabricantes deben mejorar si se pretende conseguir esto?

**8**·· ¿Por qué se usan rodamientos de agujas en lugar de los de bolas en los apoyos de la biela en un motor de dos tiempos?

**9**·· ¿Qué ventajas presenta la zona de *squish*?

**10**·· ¿Qué ventajas e inconvenientes presenta la refrigeración por aire en motores rápidos?

**11**·· ¿Cuántos segmentos tiene regularmente un motor de dos tiempos? ¿Los hay de tres segmentos? ¿Y de uno?

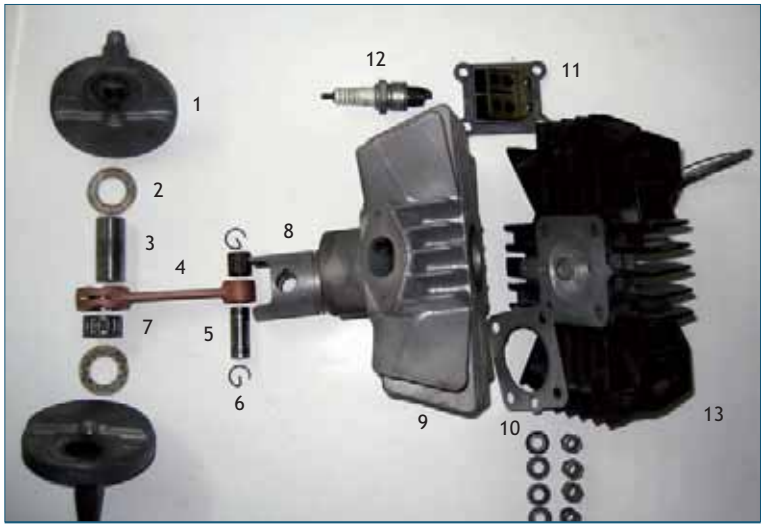
**12**·· Si en un motor de dos tiempos resultase mas fácil y económico cambiar el cilindro que el pistón, ¿a cuál de ellos le darías mayor dureza con algún tratamiento especial?

**13**·· ¿Qué motivos han llevado a que la cabeza del pistón de dos tiempos sea semiesférica en lugar de llevar un deflector?

**14**·· ¿Cuáles son las acciones principales de mantenimiento del cilindro, del pistón y de la culata?

**15**·· ¿Por qué crees que es de vital importancia el alineado, centrado y equilibrado del cigüeñal?

**16**·· Indica cómo se denomina cada uno de los componentes señalados en la figura 13.52.




**13.52.** Componentes del motor.

## Caso final

### Identificación de motores

•• Las siguientes fotografías muestran motores de dos y cuatro tiempos. Identifica a qué tipo de motor corresponde cada una de ellas, teniendo en cuenta las diferencias constructivas debidas principalmente a la ausencia de distribución del motor de dos tiempos y a la disposición de la admisión.

### Solución ••

Caso 1:

Se trata de un motor monocilíndrico de dos tiempos refrigerado por aire.

Se observa que la alimentación es a través del cárter por la disposición del carburador.

Además también se aprecia que el escape sale desde el cilindro, característico de los dos tiempos, y no por la culata, característico de los cuatro tiempos.

**13.53.** Caso 1.

**13.54.** Caso 2.

Caso 2:

En este caso, se trata de un motor de cuatro tiempos refrigerado por aire.

Se aprecia que la admisión se hace a través de la culata, que está aproximadamente a la misma altura que la bujía.

En estos motores la distribución va por el interior del bloque.

Caso 3:

En esta otra foto se observa un motor monocilíndrico, por tener un solo escape, refrigerado por aire.

El motor es de cuatro tiempos por la disposición del escape en la zona alta, en este caso culata con distribución. Por otra parte se aprecian dos carburadores, por lo que se podría pensar en principio en dos cilindros. No es el caso, por tener solo un escape, y esta configuración tan curiosa de doble admisión, se debe a que un carburador regula la entrada por unas válvulas y el otro por otras.

Suele utilizarse en culatas de 5 válvulas: 3 de admisión y 2 de escape. Aunque no se observa, el motor también dispone de doble encendido.

**13.55.** Caso 3.

**13.56.** Caso 4.

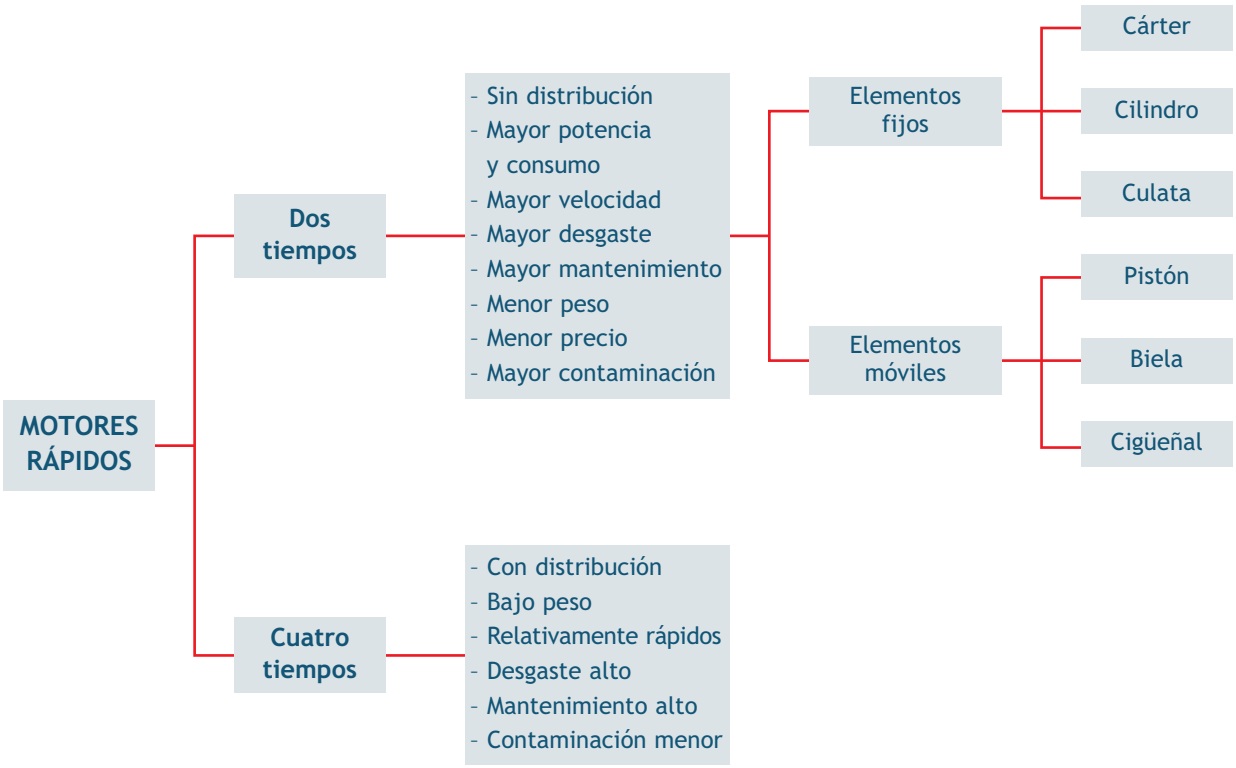
Caso 4:

En este último caso se aprecian dos bujías en la zona superior o culata. Dichas bujías, su colocación y la ausencia de aleteado, dan una idea de que se trata de un motor bicilíndrico refrigerado por líquido.

Por otro lado, fijándose en la disposición del carburador, se tiene que la admisión se realiza a través del cilindro, lo que indica que se trata de un motor de dos tiempos.

También se aprecia la salida del escape por el cilindro.

## Ideas clave


MOTORES RÁPIDOS
Dos tiempos
- Sin distribución
- Mayor potencia y consumo
- Mayor velocidad
- Mayor desgaste
- Mayor mantenimiento
- Menor peso
- Menor precio
- Mayor contaminación
Elementos fijos
Cárter
Cilindro
Culata
Elementos móviles
Pistón
Biela
Cigüeñal
Cuatro tiempos
- Con distribución
- Bajo peso
- Relativamente rápidos
- Desgaste alto
- Mantenimiento alto
- Contaminación menor

# INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

La empresa Española SUNRED especializada en el diseño, desarrollo y fabricación de prototipos y series cortas de vehículos deportivos, ha conseguido una «mención especial» por el proyecto *Moto Solar Urbana* en la 6ª edición de los Premios a las Mejores Innovaciones Tecnológicas de la 34 edición del Salón Internacional del Automóvil de Barcelona.

No sabemos de cuánto tiempo podremos disfrutar de los combustibles fósiles a un precio razonable, y cualquier iniciativa para seguir rodando sobre dos ruedas, aunque sea en el 2070 por ponerle fecha, es bienvenida. Este proyecto contempla buenas dosis de innovación: nuevos sistemas de gestión energética, motor en la rueda motriz sin transmisión y aplicación de células de captación de energía solar.

Por la complejidad de la gestión energética del vehículo, y para aumentar la ergonomía del uso, se ha instalado un cuadro de instrumentos digital táctil con pantalla LCD de 6,4" que permite recibir y gestionar información sobre el consumo, autonomía, carga, además de los datos habituales como velocidad, distancia, etc. Uno de los retos importantes de este proyecto, además de la viabilidad, consistía en encontrar un sistema que permitiera albergar de forma eficiente y segura las placas solares para maximizar la superficie de exposición.

Consiste en un sistema retráctil basculante que acoge las placas solares, recogidas en marcha en la parte posterior, dejando espacio libre para el conductor. Cuando el vehículo se encuentra estacionado las placas se extienden proporcionando la máxima superficie de exposición solar (± 3,1 $m^2$), con una autonomía aproximada de 20 km y una velocidad máxima de 50 km/h.

**13.57.** Vista frontal.

La capacidad de SUNRED para diseñar, desarrollar y fabricar prototipos o series cortas de vehículos les convierte en una empresa capaz de generar y poner en práctica proyectos altamente innovadores en aquellos aspectos como la reducción de emisiones o la mejora en la seguridad de los ocupantes.

Este proyecto de aplicación de energía solar en motos eléctricas se enmarca en el interés estratégico para desarrollar soluciones innovadoras para el transporte, bien sea por el uso de energías alternativas, el de nuevos materiales o el de nuevos sistemas de gestión.

Para más información de sus espectaculares vehículos podemos visitar la página **www.sunred.com**

**Fuente: Revista MOTOR BIKE. Nº 171. Octubre 2007**

**13.58.** Funcionamiento del sistema retráctil basculante.

unidad 14

# Sistemas de lubricación y aceites

## SUMARIO

- Características de la lubricación
- Lubricantes
- Tipos de lubricación
- Elementos de un circuito de lubricación
- Averías en los circuitos de lubricación

## OBJETIVOS

- Comprender la importancia de la lubricación en los motores.
- Conocer los diferentes tipos de aceites, su viscosidad y calidades.
- Distinguir los distintos modos de lubricación.
- Conocer los elementos que componen los circuitos de lubricación.
- Identificar las averías más frecuentes en los sistemas de lubricación.

## 1 >> Características de la lubricación

En un motor existen innumerables piezas que se mueven a gran velocidad y que rozan entre sí, debido a las rugosidades superficiales de los materiales. Así pues, se crea la necesidad de lubricar estas piezas que, en caso contrario, el rozamiento provocaría temperaturas demasiado altas, desgastes, gripajes o agarrotamientos, etc.

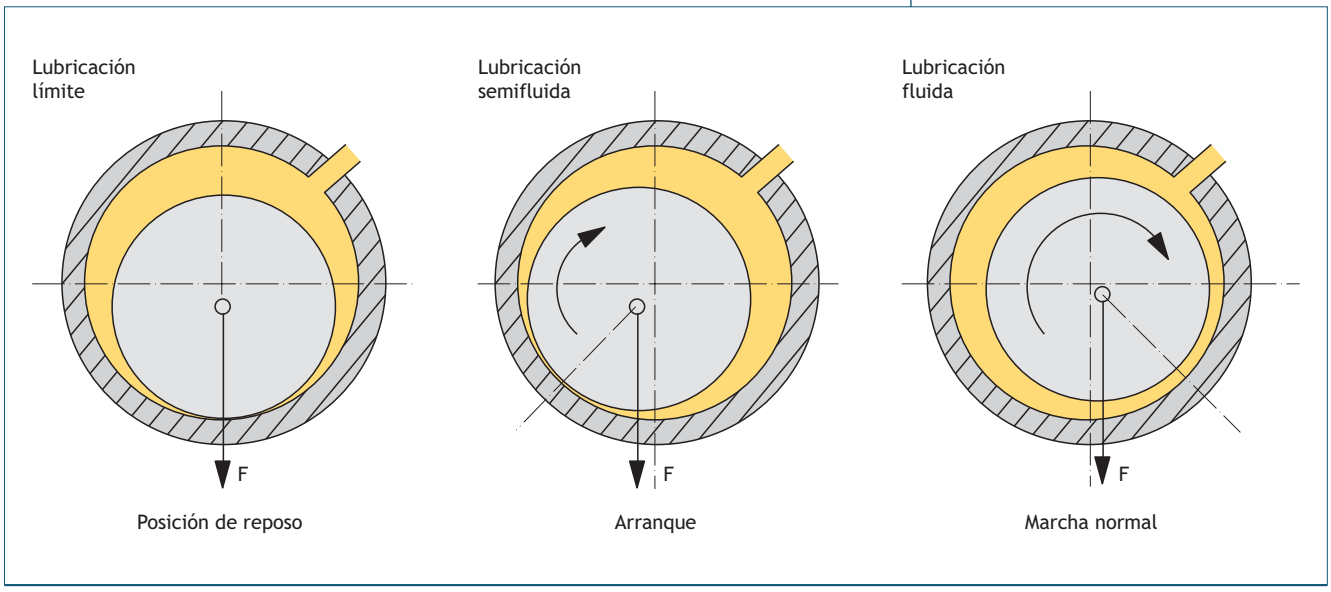
**La lubricación consiste en introducir una película de aceite entre piezas con movimiento relativo entre sí para disminuir al máximo los rozamientos. La lubricación sustituye el roce entre las superficies por la fricción en las capas del lubricante.**

En función de la película de aceite interpuesta entre las piezas con movimiento relativo entre sí (figura 14.1) existen tres tipos de lubricación:

– **Lubricación límite.** Es la peor lubricación que existe, se produce cuando las condiciones no son suficientes para crear presión debido a la baja velocidad relativa entre las superficies o a las características propias del lubricante. Se producirá contacto entre las irregularidades de las piezas que se lubrican.
– **Lubricación semifluida.** Cuando las superficies se mantienen parcialmente separadas por la película de aceite, siendo esta de menor grosor debido a que existe una velocidad menor que en la lubricación fluida, un lubricante de características inferiores o hay un aumento de carga entre las piezas, existiendo algún que otro contacto entre dichas piezas.
– **Lubricación fluida.** Es la mejor de las lubricaciones y es la idónea en todos los casos, porque la película de aceite es lo suficientemente gruesa como para impedir totalmente el contacto entre las piezas a lubricar. Esta película se consigue con un buen lubricante, con presiones producidas por la alta velocidad entre las piezas a lubricar y/o por la presión de una bomba.

### Tipos de lubricación en motores de cuatro tiempos

- **Lubricación límite.** Tiene lugar al iniciar el arranque en el motor, cuando comienza el movimiento y se producen mayores desgastes. Por este motivo es muy importante la calidad del lubricante y su fluidez para lubricar lo antes posible todas las piezas y así disminuir al máximo los desgastes.
- **Lubricación semifluida.** Se da en los arranques, durante el tiempo en que no ha llegado la presión suficiente sobre todo a las partes altas del motor. También la podemos encontrar en zonas que se lubrican sin presión, por impregnación, como el cilindro, los segmentos, los pistones, etc. Se producen también desgastes, aunque algo menores que en los de la lubricación límite.
- **Lubricación fluida.** Se alcanza cuando el motor está ya arrancado y tiene una cierta velocidad en zonas lubricadas a presión, como en los apoyos del cigüeñal, árbol de levas, etc. En estas condiciones se producen los menores desgastes.




**14.1.** Tres tipos de lubricación: límite, semifluida y fluida.

Práctica 17

## Vocabulario

**Viscosidad:** resistencia que opone un fluido, líquido o gas a su propio flujo, es decir, al movimiento. Esta resistencia depende de:

- El rozamiento interno entre sus moléculas: cuanto mayor resistencia oponga mayor será su viscosidad y viceversa.
- La temperatura: al aumentar esta disminuye su viscosidad y viceversa.

**Densidad:** masa de un aceite por unidad de volumen. Es muy habitual confundir densidad con viscosidad.

**Lube:** aceite base destilado y refinado del petróleo antes de añadir los aditivos.

### Peso específico

El peso específico es la masa de un aceite afectada por la ley de la gravedad o el peso que tiene el aceite por unidad de volumen.

Un litro de agua destilada pesa 1 kg y un litro de aceite pesa 850 g. Por consiguiente, el aceite tiene menor peso específico y menor densidad que el agua, aunque tenga mayor viscosidad. Esto se traduce en que el aceite flota sobre el agua y fluye peor que esta.

## 2 >> Lubricantes

**Un lubricante es cualquier compuesto sólido, líquido o gaseoso que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo, con el fin de evitar su contacto y reducir la fricción.**

Para la lubricación del motor en el automóvil se suelen utilizar lubricantes líquidos o aceites con una cierta viscosidad. El aceite crea una película entre las superficies; para ello debe tener viscosidad suficiente como para impedir el contacto de las piezas a lubricar. El espesor de la película interpuesta debe ser superior a la suma de alturas de las rugosidades superficiales de las piezas que se lubrican.

Los objetivos de un lubricante son las siguientes:

– Evitar el contacto entre las piezas a lubricar, reduciendo al máximo su rozamiento y alargando la vida de las piezas.
– Ayudar a rebajar la temperatura de las piezas lubricadas.
– Proteger químicamente las superficies metálicas de la oxidación.
– Limpiar y arrastrar contaminantes.
– Ayudar a sellar entre pistón, segmentos y cilindro.
– Amortiguar ruidos del motor.

Un lubricante convencional está compuesto de aceite base (70 al 85%) y de aditivos (15 al 30%). El aceite base se obtiene del petróleo crudo, por destilación a presión atmosférica, subiendo la temperatura a unos 350 °C. De esta manera, según aumenta la temperatura se obtienen por el siguiente orden: gases, gasolinas, gasóleos y un residuo llamado atmosférico. Este residuo puede ser empleado para una nueva destilación, que sería en vacío, para no tener que aumentar mucho la temperatura y no alterar el producto; de ahí se obtiene gasóleo de vacío y tres tipos de lube o aceite base: pesado, medio y ligero. Estos tres últimos destilados se refinan y con ellos se obtiene el aceite base, al que se le añade un paquete de aditivos para obtener el lubricante.

Los lubricantes pueden ser:

– **Vegetales.** Se refinan con semillas, frutas y algunas plantas oleaginosas. El aceite de ricino es el más utilizado, sobre todo en motores de dos tiempos y de competición, por su elevada untuosidad y por mantener una elevada viscosidad a altas temperaturas. Se oxidan con facilidad.
– **Minerales.** Se obtienen del petróleo, por destilación a presiones reducidas de las partes menos volátiles del crudo por sucesivas purificaciones.
– **Sintéticos.** Se obtienen del petróleo por síntesis para obtener un lubricante a medida, con elevadas características buscadas a través de procesos fisicoquímicos específicos. Suelen ser caros. Los productos sintéticos están caracterizados por ser más fluidos a bajas temperaturas, tener mayor índice de viscosidad, poseer mayor protección al desgaste y ser más fluidos, lo que hace que reduzcan el consumo de combustible. Tienen un punto de inflamabilidad mayor y menor volatilidad que otros lubricantes.
– **Semisintéticos.** Están constituidos por una gran proporción de aceite mineral y una pequeña proporción de aceite sintético. Así se consigue reducir el precio con respecto a los sintéticos y mejorar la protección, además disminuye el consumo de carburante y de aceite respecto a los minerales.

## 2.1 > Características de un lubricante

Un lubricante tiene una serie de características importantes: viscosidad, densidad, untuosidad, acidez, puntos de inflamación y de congelación, volatilidad (*noack*), detergencia, dispersión y formación de espuma. Todas estas características se combinan para conseguir lubricantes de calidad.

### Viscosidad

> **La viscosidad es la resistencia de las moléculas de un fluido a ser desplazadas. Cuanto más viscoso es un líquido o un gas mayor dificultad presenta a la hora de fluir.**

La viscosidad de un aceite es una de sus características más importantes pues se necesita cierta viscosidad para que no se rompa la película de aceite.

La **viscosidad dinámica o absoluta** es la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la fricción de un fluido al desplazar una placa a una velocidad constante sobre otra placa que permanece estática, habiendo entre ellas una distancia rellena de dicho fluido. Este aceite se adhiere a ambas placas; el fluido que está en contacto con la placa móvil se desplaza a la misma velocidad que esta y el que está en contacto con la placa estática permanece, a su vez, en reposo. Estas diferencias de velocidad dentro del aceite producen rozamientos y estos están relacionados con la viscosidad.

La unidad de medida en el Sistema Internacional es el **pascal segundo (Pa · s)**, un submúltiplo es el **milipascal segundo (mPa · s)** y en el Sistema Cegesimal es el **poise (P)**, siendo el submúltiplo más utilizado el **centipoise (cP)**.

La **viscosidad cinemática o relativa** es la resistencia que ofrece un fluido cuando se hace fluir por la fuerza de la gravedad. Es la viscosidad más utilizada comercialmente. También se puede definir como el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido.

La unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro cuadrado segundo **($m^2$ / s)**. Un submúltiplo muy utilizado es el **milímetro cuadrado segundo ($mm^2$ / s)** y en el Sistema Cegesimal es el **stoke (St)**, siendo el submúltiplo más utilizado el **centistoke (cSt)**.

El lubricante en frío tiene una viscosidad alta, justo cuando necesita ser fluido para llegar bien a todas partes, y en caliente pierde viscosidad, corriendo el peligro de la ruptura de la película. Los lubricantes pierden viscosidad a medida que aumenta su temperatura. Así pues, son necesarios lubricantes fluidos en frío que pierdan lo menos posible su viscosidad al aumentar la temperatura. Esto se consigue haciendo **lubricantes con viscosidades variables**, en función de la temperatura.

Universalmente la clasificación referente a la viscosidad de los aceites para el motor es la establecida por la SAE J300 (Sociedad de ingenieros del automóvil). Esta clasifica los aceites por grados en función de:

– Su viscosidad dinámica en frío: desde –10 a –35 °C según el grado.
– Su bombeabilidad en frío: desde –15 a –40 °C según el grado.
– Su viscosidad cinemática y dinámica en caliente: 100 y 150 °C.

### Viscosímetro

Un viscosímetro es un recipiente con una capacidad determinada, que posee un orificio de drenaje calibrado. Se usa para medir la viscosidad dinámica de un fluido. Para ello se llena el recipiente del fluido que se va a medir hasta la capacidad marcada y se deja fluir cronometrando el tiempo que tarda en evacuarse del recipiente.

La viscosidad del fluido, en función del tiempo y de la temperatura, se recoge en una tabla.

| Equivalencias entre unidades de la viscosidad dinámica |
|---|
| 1 Pa · s = 1 000 mPa · s<br>1 mPa · s = 0,001 Pa · s |
| 1 Pa · s = 10 P<br>1 P = 0,1 Pa · s |
| 1 mPa · s = 0,01 P<br>1 P = 100 mPa · s |
| 1 mPa · s = 1 cP<br>1 cP = 1 mPa · s |
| 1 P = 100 cP<br>1 cP = 0,01 P |
| 1 Pa · s = 1 000 cP<br>1 cP = 0,001 Pa · s |

| Equivalencias entre unidades de la viscosidad cinemática |
|---|
| 1 $m^2$ / s = $10^6$ $mm^2$ / s<br>1 $mm^2$ / s = $10^{-6}$ $m^2$ / s |
| 1 $m^2$ / s = $10^4$ St<br>1 St = $10^{-4}$ $m^2$ / s |
| 1 $m^2$ / s = $10^6$ cSt<br>1 cSt = $10^{-6}$ $m^2$ / s |
| 1 St = 100 cSt<br>1 cSt = 0,01 St |
| 1 $mm^2$ · s = 0,01 St<br>1 St = 100 $mm^2$ / s |
| 1 $mm^2$ / s = 1 cSt<br>1 cSt = 1 $mm^2$ / s |

### Mayor fluidez del lubricante

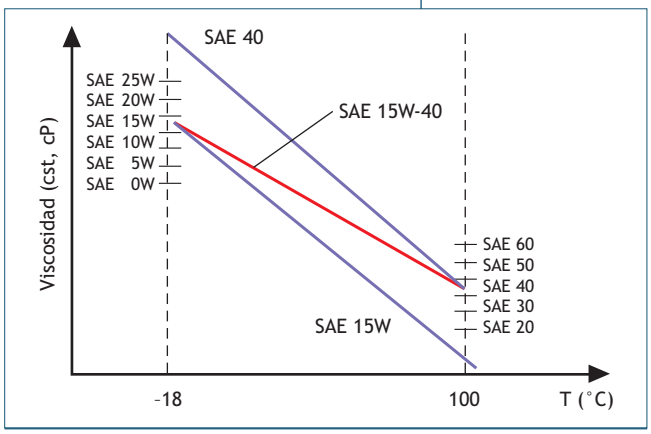
En la actualidad se tiende a utilizar aceites más fluidos, es decir, con menor viscosidad para disminuir consumos en el motor. Son lubricantes de gran calidad que evitan la ruptura de la película de aceite y los desgastes. Se consiguen haciendo que sus cadenas de hidrocarburos sean muy largas y resistentes.

Existen dos tipos de grados de viscosidad SAE:

– El primer tipo clasifica los aceites según su viscosidad en frío. Se representa por múltiplos de 5 entre 0 y 25, seguidos de la letra W *(winter)*.
– El segundo tipo clasifica los aceites según su viscosidad en caliente. Se representan por múltiplos de 10 que oscilan entre 20 y 60.

**La viscosidad real de trabajo o viscosidad HTHS (alta temperatura, alto gradiente de cizallamiento) es la viscosidad dinámica de un aceite sometido a una temperatura de 150 °C bajo condiciones de cizallamiento muy severas. Se mide en cP o en mPa · s.**

La viscosidad real de trabajo sirve para establecer un nivel mínimo de seguridad para lubricantes de baja viscosidad llamados **ahorradores de combustible** *(fuel economy* o *energy conserving)*. Cuanto menor es la viscosidad real de trabajo más cantidad de combustible ahorra y menor protección al desgaste proporciona.




**14.2.** Ejemplo de viscosidad aceite multigrado.

En función de los grados que cumplan, los aceites se pueden dividir en monogrado y multigrado.

– **Aceites monogrado:** son los que cumplen un solo grado SAE, por ejemplo, SAE 30 o SAE 20W. Cambian mucho su viscosidad con la temperatura.
– **Aceites multigrado:** son los que su viscosidad está comprendida entre los grados que le identifican. Por ejemplo, un SAE 15W40 indica que en frío tendrá la viscosidad de un SAE 15W y a 100 °C mantendrá la viscosidad de un SAE 40 (figura 14.2). Hoy en día son los más utilizados con diferencia.

**Grados de viscosidad SAE de aceites para motor**

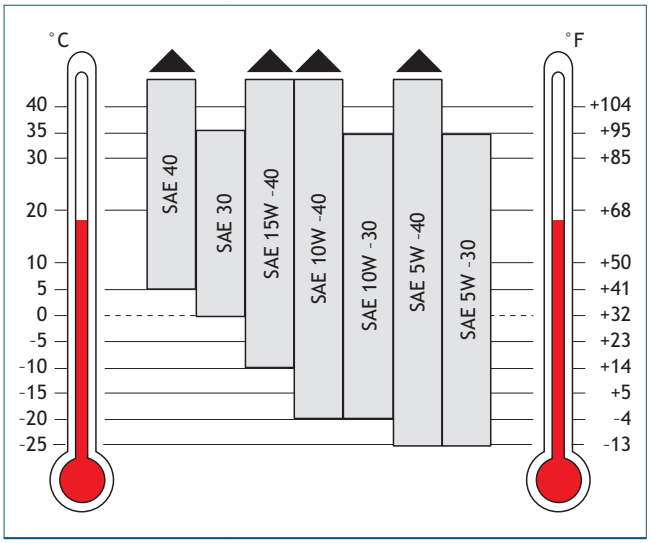
| Grados de viscosidad SAE | Viscosidad dinámica máxima (mPa · s) en arranque a baja temperatura (°C) | Viscosidad dinámica de bombeo máxima (mPa · s) a baja temperatura (°C) | Viscosidad cinemática ($mm^2/s$) a 100 °C | | Viscosidad dinámica (mPa · s) mínima a 150 °C |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mínima | Máxima | |
| 0W | 6 200 a -35 | 60 000 a -40 | 3,8 | - | - |
| 5W | 6 600 a -30 | 60 000 a -35 | 3,8 | - | - |
| 10W | 7 000 a -25 | 60 000 a -30 | 4,1 | - | - |
| 15W | 7 000 a -20 | 60 000 a -25 | 5,6 | - | - |
| 20W | 9 500 a -15 | 60 000 a -20 | 5,6 | - | - |
| 25W | 13 000 a -10 | 60 000 a -15 | 9,3 | - | - |
| 20 | - | - | 5,6 | 9,3 | 2,6 |
| 30 | - | - | 9,3 | 12,5 | 2,9 |
| 40 | - | - | 12,5 | 16,3 | 2,9 (para grados 0W-40, 5W-40, 10W-40) |
| 40 | - | - | 12,5 | 16,3 | 3,7 (para grados 15W-40, 20W-40, 25W-40, 40) |
| 50 | - | - | 16,3 | 21,9 | 3,7 |
| 60 | - | - | 21,9 | 26,1 | 3,7 |

Si hubiese que mezclar aceites de distintas marcas, habría que, como mínimo, respetar el mismo grado SAE.

Los lubricantes más fluidos aportan una gran lubricación en frío, que es cuando se producen los mayores desgastes, sin perder capacidad de lubricación en caliente y, además, permite una reducción de consumo del combustible (aceites *fuel economy* o *energy conserving*).

Los grados de viscosidad SAE a emplear dependen del tipo de motor y sus tolerancias, del clima donde se vaya a usar, etc. Por tanto, los grados de viscosidad SAE los recomienda el fabricante en el manual de usuario y el de taller en forma de tabla en función del clima donde vaya a funcionar (figura 14.3).

Por tanto, un mismo motor usará aceites con distintas viscosidades dependiendo de si el automóvil está en un país cálido o más frío.



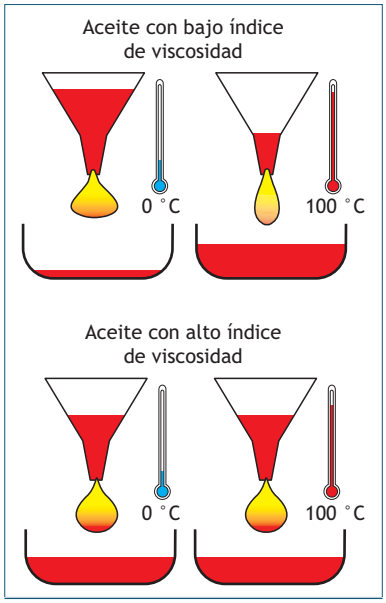

**14.3.** Ejemplo de recomendación del grado de viscosidad de un lubricante.

### Índice de viscosidad

**El índice de viscosidad (VI) mide el comportamiento de la viscosidad en función de la temperatura (figura 14.4).**

Este índice es un factor muy importante en la viscosidad: cuanto mayor es el VI más alejados estarán los dos grados de un aceite multigrado y menor será la influencia de la temperatura en la viscosidad.

Por ejemplo, un 15W40 tiene menor índice de viscosidad que un 5W50.




**14.4.** Índice de viscosidad.

### Densidad

**La densidad es la masa que tiene el aceite por unidad de volumen.**

### Untuosidad

**La untuosidad es la propiedad que tienen los aceites de adherirse fuertemente a las piezas que lubrican.**

Esta propiedad es muy útil si se ha degradado un aceite y ha perdido parte de su viscosidad. Es más importante en grasas que en aceites.

### Acidez

**El pH es la concentración de hidrógenos que tiene una sustancia. A mayor número de hidrógenos mayor acidez y viceversa.**

El pH se expresa en cifras de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo las disoluciones con número menor de 7 ácidas, con número mayor de 7, alcalinas o básicas y con número 7 el pH es neutro en la disolución, que significa que existe equilibrio entre ácido y base.

El gasoil usado en los motores diésel contiene azufre. El azufre mezclado con oxígeno y agua crean ácido sulfúrico, altamente corrosivo. El Número Total de Bases (TBN) indica la reserva alcalina del aceite para neutralizar estos ácidos que se producen en la combustión.

### Grasas

Las grasas son lubricantes semisólidos de consistencia pastosa que se usan para lubricar elementos que no admiten lubricantes líquidos, como los aceites, al ser estos demasiado fluidos. Constan de un fluido lubricante, un agente espesante y un paquete de aditivos, en el que todos sus componentes forman una dispersión íntima.

### Reservas alcalinas de los lubricantes

El contenido de azufre actual de los gasóleos está en torno al 0,005%. Para esa cantidad de azufre, los aceites para diésel deben tener un TBN en aceite nuevo de 8 mg de hidróxido potásico por gramo de aceite (mgKOH/gr) y se deben sustituir antes de que su TBN sea inferior a 6 para evitar corrosión.

### Formación de espumas en un aceite

La formación de espumas en un aceite se produce cuando se hace pasar aire a través de él a distintas temperaturas. Estas espumas son dañinas para los motores porque evitan el contacto directo del lubricante con las zonas a lubricar.

### Siglas de los aceites

Estas son las abreviaturas de los aceites más utilizados en la actualidad:

- *Fuel economy:* economía de combustible.
- *Long drain:* intervalo de mantenimiento prolongado.
- SAPS: cenizas sulfatadas, fósforo y azufre.
- *Low* SAPS: bajo contenido en SAPS.
- *Mid* SAPS: medio contenido en SAPS.
- DPF: filtro diésel de partículas.
- CTR: filtro de partículas de regeneración continua.
- EGR: recirculación de gases de escape.
- SCR: catalizador de reducción selectiva.
- TWC: catalizador de tres vías.
- *Noack:* prueba de volatilidad durante una hora a 250 °C.
- HTHS: alta temperatura y alto gradiente de cizallamiento.

#### Punto de inflamación

**El punto de inflamación es la temperatura a la que un aceite desprende vapores inflamables al entrar en contacto con una llama.**

El punto de inflamación indica la cantidad de componentes volátiles que forman parte de un aceite y suele estar por encima de los 200 °C.

#### Punto de congelación

**El punto de congelación es la temperatura más baja a la que una muestra de aceite es capaz de fluir al enfriarse progresivamente.**

El punto de congelación indica el contenido de sustancias fácilmente congelables y depende de su viscosidad. A mayor viscosidad más fácil es que se congele.

#### Volatilidad

**La volatilidad es el porcentaje de peso que pierde un aceite al calentarlo a 250 °C durante una hora, prueba *noack*.**

Cuanto menor es la volatilidad de un aceite menor es el consumo de aceite del motor. Los motores que necesitan mantenimiento tras largos periodos de tiempo requieren el uso de aceites con volatilidad lo más baja posible, para que el usuario no tenga que rellenar el aceite con frecuencia.

#### Detergencia

**La detergencia es la capacidad de un aceite para prevenir la formación de barnices y carbonilla durante el funcionamiento del motor.**

#### Dispersión

**La dispersión es la capacidad que tiene un aceite de movilizar las partículas que se han limpiado gracias a su detergencia, evitando que se acumulen y lleguen a taponar el circuito de engrase.**

#### Capacidad antiespumante

**La capacidad antiespumante de un aceite es su capacidad para evitar la formación de espumas.**

## 2.2 > Aditivos

Para conseguir un buen aceite hay que mejorar las características de los aceites base añadiéndole aditivos químicos. En función de los aditivos con los que se mezcle el aceite base se conseguirá una calidad determinada.

#### Aditivos mejoradores del índice de viscosidad

En frío se necesita un aceite con bajo grado de viscosidad SAE y, sin embargo, en caliente hace falta aceite con alto grado de viscosidad SAE.

Estos aditivos permanecen enrollados en frío sin afectar a la fluidez del aceite base, pero al calentarse se desenrollan aumentado su viscosidad.

#### Aditivos antidesgaste

Los aditivos antidesgaste sirven para evitar el contacto de las piezas creando una capa que evita que disminuya el espesor de la película de aceite.

### Aditivos antioxidantes del aceite

Previenen la oxidación del aceite con el oxígeno del aire y con los gases de la combustión favorecida por las altas temperaturas. Estas ayudan a pegar los segmentos al pistón disminuyendo así la estanqueidad del cilindro. La oxidación del aceite provoca barnices o lacas que se adhieren a los materiales a refrigerar creando una capa aislante que empeora la refrigeración.

### Aditivos anticorrosivos

Los aditivos anticorrosivos neutralizan los ácidos y previenen la corrosión interna debida a condensación, residuos de la combustión, salinidad, etc. A mayor cantidad de aditivos anticorrosivos, mayor número TBN tendrá el aceite.

### Aditivos detergentes

Los aditivos detergentes sirven para limpiar de residuos el circuito de engrase desincrustando y disolviendo los depósitos en los pistones, en los segmentos, etc.

Este aditivo impide que las partículas de laca, goma o barnices se peguen a las piezas metálicas, manteniéndolas limpias. Cuanto mayor cantidad de antioxidante tenga un aceite, menos aditivo detergente debe llevar.

### Aditivos dispersantes

Son los encargados de minimizar la formación de lodo. Los lodos en frío son productos de descomposición del aceite que se forman a cargas bajas del motor y a temperaturas de trabajo bajas, depositándose en el cárter.

Estos aditivos son efectivos a bajas temperaturas, es decir, cuando los motores están parados o recién arrancados.

### Modificadores de fricción

Su importancia radica en la capacidad para reducir la fricción entre superficies. Utilizados de forma adecuada, pueden reducir el consumo de combustible, especialmente a velocidades medias.

## 2.3 > Especificaciones de calidad

Las especificaciones de un aceite indican su calidad. Existen distintas organizaciones que se encargan de testar y corroborar que los aceites cumplen las calidades que indican en los envases.

Los organismos generales más importantes son:

– ACEA en Europa.
– API en EEUU.
– ILSAC internacional.

La calidad viene indicada por unas especificaciones que se conceden por organismos generales o fabricantes, que se encargan de probar los aceites, y certifican su calidad con posterioridad.

#### Reducción del consumo de combustible

Para reducir el consumo de combustible de los motores se intenta reducir al máximo los rozamientos, pues son pérdidas energéticas, para ello se utilizan aceites cada vez más fluidos y más activados con modificadores de fricción, estos son llamados *fuel economy* o *energy conserving*.

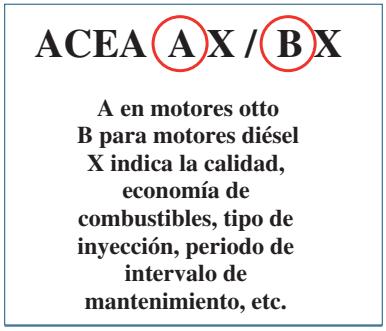
#### Calidad ILSAC

El Comité Internacional de Aprobación y Normalización de los Lubricantes (ILSAC) es el organismo internacional que realiza los ensayos de aceites de motor y los certifica con unas siglas que indican la calidad del aceite y el uso al que está destinado.

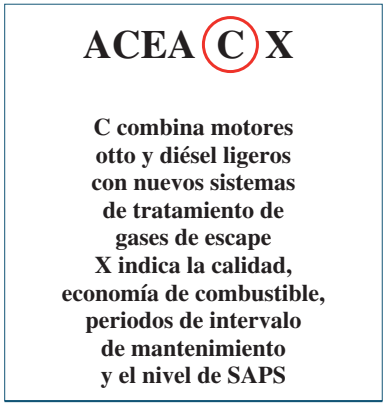
ILSAC está compuesto por:
- La Asociación de Fabricantes de Automóviles Americanos (AAMA).
- La Asociación de Fabricantes de Automóviles Japoneses (JAMA).

La primera especificación de ILSAC fue en 1992. Usan las siglas GF (alimentado con gasolina) seguidas de un número. Esta especificación es para motores de gasolina y son muy parecidas a las API. La GF-1 y GF-2 están extinguidas.

- **GF-3:** igual que API SL pero más restrictiva en el ahorro de combustible.
- **GF-4:** igual que API SM pero más restrictiva en el ahorro de combustible y *mid* SAPS.




**14.5.** ACEA gasolina y diésel ligero sin tratamiento de gases Euro 4.




**14.6.** ACEA gasolina y diésel ligero con tratamiento de gases Euro 4.

A nivel de fabricantes (**OEM** - *Original Equipment Manufacturer*) los más importantes son:

– VAG
– Daimler Chrysler
– Ford
– Opel
– BMW

### Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA)

**La Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) es el organismo europeo que realiza los ensayos de aceites de motor y los certifica con unas siglas que indican la calidad del aceite y el uso al que está destinado.**

ACEA, creada en 1996, sustituyó al antiguo Comité de Constructores del Mercado Común (CCMC) dejando sin validez los ensayos y certificados que emitía este. Ha sacado especificaciones en los años 1996, 1998, 1999, 2002, 2004 y 2007, estando en vigor las de 2004, solamente hasta el 31 de diciembre de 2009 y las del año 2007, que de momento, no tienen fecha de caducidad.

Hasta el año 2004 se usaba la letra A para motores otto, la B para los diésel ligeros y la E para los diésel pesados. Desde entonces hasta ahora, las siglas A y B van acompañadas por combinaciones de categorías que reunifican, por vez primera, gasolina y diésel (figura 14.5):

| Aceites para motores de gasolina y diésel ligeros anteriores a la normativa Euro 4 | |
|---|---|
| A3/B3 | Son lubricantes de alta calidad y estabilidad de lubricación, recomendados para vehículos de altas prestaciones y condiciones severas de trabajo definidas por el fabricante. |
| A3/B4 | Son lubricantes que tienen las mismas características que los A3/B3, pero también están recomendados en motores diésel de inyección directa. |
| A1/B1 | Son lubricantes que tienen las mismas características y recomendaciones que los A3/B3, pero para motores diseñados para usar baja viscosidad, ahorro de combustible. |
| A5/B5 | Son lubricantes que tienen las mismas características que los A3/B3, recomendados también para motores diésel de inyección directa A3/B4, para motores diseñados para usar baja viscosidad, ahorro de combustible A1/B1 y además están indicados para prolongar los intervalos de cambio de aceite. |

Los aceites A1/B1 y los A5/B5 pueden no ser adecuados para determinados motores, por lo que antes hay que asegurarse, consultando el manual de mantenimiento del vehículo.

En 2004, además de las categorías ya existentes, aparece la nueva categoría C para vehículos que cumplen la normativa Euro 4 (figura 14.6). Todos los aceites clasificados con la letra C tienen límites químicos para compatibilizar los aditivos de los aceites con los nuevos sistemas de tratamiento de los gases de escape Euro 4.

| Aceites para motores de gasolina y diésel ligeros que cumplen la normativa Euro 4 | |
|---|---|
| C1 | Son lubricantes de alta calidad y estabilidad de lubricación, recomendados para vehículos de altas prestaciones, para motores diseñados para usar baja viscosidad, ahorro de combustible, para vehículos con catalizadores de 3 vías (TWC) o con filtros diésel de partículas (DPF), pues tienen los límites más bajos de azufre, fósforo y cenizas sulfatadas (SAPS). |
| C2 | Similares a los C1 pero con límites de SAPS menos exigentes. |
| C3 | Son lubricantes similares a los C2 en lo que se refiere a los límites de SAPS, con viscosidad superior que les hace ser más restrictivos con el desgaste del motor pero con menor ahorro de combustible y son también más restrictivos con la evaporación del aceite (*noack*). |
| C4 | Son lubricantes similares a los C1 en los límites de SAPS, con viscosidad equivalente a C3 y es el más restrictivo con la evaporación del aceite (*noack*) más incluso que los C3. |

Estos aceites pueden no ser apropiados para algunos motores. Antes de hacer uso de cualquiera de ellos, consulta los manuales de mantenimiento.

En la actualidad se usa la categoría E para motores diésel pesados (figura 14.7), aunque las categorías E1, E3 y E5 ya no se comercializan. Sus características se resumen en la siguiente tabla:

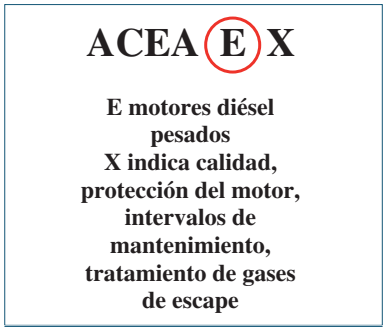
| Aceites para motores diésel pesados o semipesados | |
|---|---|
| E2 | Son lubricantes de uso general para motores diésel aspirados y sobrealimentados con intervalos de mantenimiento normales. Es el aceite de menor estabilidad y el menos restrictivo con el desgaste de motor. Indicado en motores antiguos que no cumplen normas anticontaminación. |
| E4 | Son lubricantes de alta estabilidad de lubricación. Recomendados para motores altamente solicitados cumpliendo cualquier normativa anticontaminación y trabajando bajo severas condiciones. Los intervalos de cambio de aceite se alargan significativamente, según las recomendaciones del fabricante. No son apropiados para vehículos provistos de DPF, pero sí es válido para algunos motores con EGR y/o SCR. |
| E6 | Son lubricantes que tienen las mismas características que los E4, aunque con mayor estabilidad al cizallamiento. Es el lubricante con más bajo nivel de SAPS. Recomendado para todos los vehículos Euro 4, sin ningún tipo de restricción. Se recomienda que el combustible utilizado tenga un porcentaje de azufre ≤ 0,005 % en peso. |
| E7 | Tienen las mismas características que los E6, pero con mayor estabilidad al cizallamiento que estos. Recomendados para motores altamente solicitados, bajo severas condiciones de uso, cumpliendo cualquier normativa anticontaminación. Los intervalos de cambio de aceite se alargan significativamente, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. No es apropiado para vehículos provistos de DPF (por tanto, más restrictiva que E6), pero sí es válido para la mayoría de motores con EGR y/o SCR. Los aceites que cumplen con las especificaciones E6 y las E7 cumplen los requisitos de todos los fabricantes. |

### Ford

Ford es un fabricante con normativa propia. Está basada en la ACEA pero con normas algo más restrictivas porque se hacen pruebas con motores de la marca.

Las siglas son FORD WSS-M2C91 más un número y unas siglas que indican la calidad.

- **Ford WSS-M2C911-A1.** De 1998. Cumple API SJ y ACEA A3/B3.
- **Ford WSS-M2C913-A/B.** De 1998. Cumple ACEA A1/B1 más pruebas en motores de Ford. Economía de combustible.
- **Ford WSS-M2C917-A.** Especificación para motores diésel de inyector bomba.



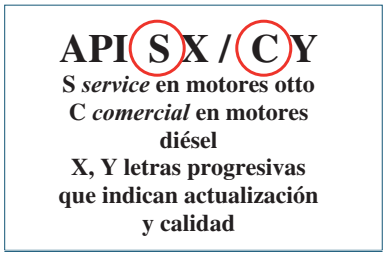

**14.7.** ACEA diésel pesado.

### BMW

BMW es otro de los fabricantes con normativa propia. Está basada en la ACEA pero más restrictiva al sumarle pruebas con motores de la marca.

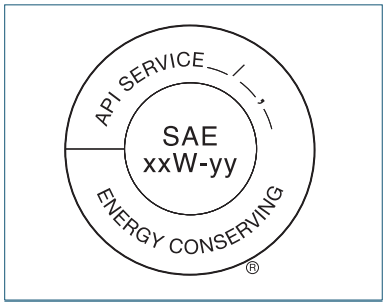
Las siglas son BMW más LL, siglas de *long life* (larga duración) más dos números que indican el año en el que se creó:

- **BMW LL-98.** Cumple ACEA A3/B3 más pruebas en motores propios.
- **BMW LL-01 FE.** Cumple ACEA A1/B1, ahorro de combustible más pruebas en motores propios.
- **BMW LL-04.** Basada en la BMW LL-01 con límites mid SAPS, mayor intervalo de mantenimiento y más pruebas en motores propios.




**14.8.** API gasolina y diésel.

**14.9.** Marca de certificación API *(Starburst)*.




**14.10.** Símbolo de servicio API (*donut*).

### General Motors

Opel es otro fabricante con normativa propia. Está basada en la normativa ACEA. Las siglas son GM-LL-una letra que indica gasolina (A) o diésel (B) y tres números.

- **GM-LL-A-025.** Aceite de larga duración y largo intervalo de mantenimiento.
- **GM-LL-B-025.** Aceite de larga duración y largo intervalo de mantenimiento flexible.

Hasta 30 000 km en motores otto y 50 000 km en motores diésel o dos años.

### *American Petroleum Institute* (API)

**API es el organismo americano que, desde 1974, realiza ensayos de aceites y los certifica con unas siglas y símbolos que indican su calidad y el uso para el que está destinado.**

API divide los aceites en diferentes categorías en función de su calidad usando dos letras (figura 14.8):

– La primera indica si es para motor otto o diésel: S para motores de gasolina y C para motores diésel.
– La segunda indica la calidad: empezando por la A y continuando con las letras del abecedario.

#### Marca de certificación API - *Starburst*

Un aceite que ostente esta marca (figura 14.9) cumple con la norma vigente de protección de los motores de gasolina y con los requisitos de economía de combustible del Comité Internacional de Normalización y Aprobación de Lubricantes (ILSAC).

#### Símbolo de servicio API

Este símbolo de servicio API, también conocido como *donut,* indica la viscosidad del aceite, las especificaciones de calidad que cumple y si es un aceite que reduce el consumo de combustible (figura 14.10). Además está dentro de un programa de muestreo y ensayos en el mercado, es decir, se ensayan muestras cogidas aleatoriamente del mercado.

Las partes del *donut* son las siguientes:

– La parte superior indica la categoría de uso y la calidad:
  • **Categorías de aceite para motor de gasolina en automóviles, furgonetas y camionetas con motor de gasolina:** son de categoría S (*service*) de API.
  • **Categorías de aceite para motor diésel** para camiones de trabajo pesado y vehículos con motores diésel: son de categoría C (*comercial*) de API.

– El centro del *donut* indica el grado de viscosidad SAE: es la medida de la viscosidad del aceite y su capacidad para fluir a determinadas temperaturas según la norma SAE.
– La parte inferior indica si el aceite es *Energy Conserving* o CI-4 PLUS:
  • ***Energy Conserving* o ahorro de energía:** se aplica a aceites destinados a automóviles, furgonetas y camionetas con motor de gasolina (SM o SL). El uso de aceites *Energy Conserving* puede dar como resultado un ahorro general de combustible:
    - Mayor del 1,4% en aceites con viscosidades comprendidas entre 0W20 y 5W20.
    - Mayor del 1,1% en aceites con viscosidades comprendidas entre 0WXX y 5WXX, siendo XX superior a 20.
    - Mayor del 0,5% en aceites con viscosidades 10WXX.

  • **CI-4 PLUS:** indica el uso conjunto de API CI-4 y CJ-4. Identifica aceites indicados para brindar un nivel superior de protección contra el aumento de la viscosidad asociada al hollín y para evitar la pérdida de viscosidad debida al cizallamiento en motores diésel.

## Descripción de categorías de calidad del servicio API

| Motores otto | |
|---|---|
| Categoría | Servicio |
| SM | Introducidos en 2004. Fueron diseñados para brindar mayor resistencia a la oxidación, mejor protección contra la formación de sedimentos y contra el desgaste y mejor rendimiento a baja temperatura. Algunos pueden cumplir con la especificación ILSAC más reciente o calificarse como ahorradores de combustible. |
| SL | Son lubricantes para automóviles de 2004 y anteriores, se califican como ahorradores de combustible. Se pueden utilizar en lugar de API SJ. |
| SJ | Son lubricantes para automóviles de 2001 y anteriores, se califican como ahorradores de combustible. Se pueden utilizar en lugar de cualquier API anterior. |
| SA a SH | Desde 1930 a 1996. Han sido sustituidas por las tres anteriores de esta tabla. |

| Motores diésel | |
|---|---|
| Categoría | Servicio |
| CJ-4 | Introducidos en 2006, de alta calidad y estabilidad de lubricación y de cizallamiento. Indicados en motores de alta velocidad que cumplen con las normas de emisión de gases de escape de 2007. Recomendados para combustibles diésel con contenido de azufre inferior al 0,05% de su peso, si no repercuten en la duración del sistema de tratamiento de los gases de escape y en el intervalo de drenaje de aceite. Indicados para motores que usan DPF, SCR, EGR. Estos lubricantes superan las especificaciones CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4 y pueden lubricar eficazmente motores que requieren esas categorías de servicio API. |
| CI-4 | Introducidos en 2002. Indicados para motores de alta velocidad diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape en 2002. Recomendados para motores que usan EGR y combustibles diésel con contenido de azufre inferior al 0,5% en peso. Pueden usarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificarse como CI-4 PLUS, que evitan el aumento de viscosidad producido por el hollín. |
| CH-4 | Introducidos en 1998. Indicados para motores de alta velocidad diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape de 1998. Recomendado usar combustibles diésel con contenido de azufre inferior al 0,5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, y CG-4. |
| CG-4 | Introducidos en 1995, indicados para motores de trabajo intenso, de alta velocidad, que cumplen la normativa anticontaminación del año 1994, que utilizan combustible con contenido de azufre menor de 0,5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD, CE, y CF-4. |
| CF-4 | Introducidos en 1990. Indicados para motores de alta velocidad, aspiración natural y sobrealimentados. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD y CE. |
| CF-2 | Introducidos en 1994. Indicados para motores de trabajo intenso, de dos tiempos. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD-II. |
| CF | Lubricantes introducidos en 1994. Indicados para motores todo terreno de inyección indirecta y otros motores diésel incluyendo aquellos que utilizan combustible con contenido de azufre superior a 0,5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD. |
| CA a CE incluido CD-II | Son lubricantes introducidos desde 1959 hasta 1985 que han sido sustituidos por las categorías anteriores de esta tabla. |

### Daimler Chrysler

Mercedes Benz es otro de los fabricantes con especificaciones propias para sus vehículos. Son bastante importantes por la exigencia de sus test. La cifra se corresponde con el número de página del libro *grey book* de Mercedes Benz. En él se clasifican todos los tipos de fluidos homologados por este fabricante.

### VAG

VAG es uno de los fabricantes con especificaciones propias para sus vehículos. Estas especificaciones no están basadas ni en ACEA ni en API. Son bastante importantes porque engloban cuatro marcas de vehículos más los motores que venden a otros fabricantes de automóviles. Empezaron con sus especificaciones en 1992.

Su marcaje comienza con las siglas VW seguido de un número de tres dígitos, un punto y dos dígitos más. El 5 siempre es la cifra de las centenas y el 0 es el de las decenas, cambiando la cifra de las unidades y los dos dígitos a la derecha del punto.

| Motores otto | |
|---|---|
| VW 503.00 | Introducidos en 2 000. Indicados para motores que pueden usar baja viscosidad, ahorro de combustible y con servicio long life II (largo intervalo de mantenimiento, aproximadamente cada 30 000 km). |
| VW 503.01 | Introducidos en 2 000. Indicados para motores sobrealimentados que usan lubricantes con mayor viscosidad. Menor ahorro de combustible que el anterior. |
| VW 504.00 | Indicados para vehículos que cumplen la norma anticontaminación Euro 4, sistemas FSI, TSI con catalizador de NOx, que necesiten lubricantes con bajo nivel de SAPS, motores con servicio long life III (largo intervalo de mantenimiento, 30 000 km). Motores que pueden usar baja viscosidad. Ahorro de combustible. |
| **Motores otto y diésel** | |
| VW 502.00 | Introducidos en 1997. Sustituyeron a los VW 501.01 y al VW 500.00. Indicados para vehículos sobrealimentados con servicio long life I (largo intervalo de mantenimiento, aproximadamente cada 15 000 km). |
| **Motores diésel** | |
| VW 505.00 | Introducidos en 1992, indicados para motores atmosféricos y sobrealimentados. |
| VW 505.01 | Indicados para motores de inyección directa con inyector bomba sin DPF, con servicio long life I; motores que necesitan una alta viscosidad, poco ahorradores de combustible. |
| VW 506.00 | Para motores a partir del año 2000, con inyección directa, sin inyector bomba, con servicio long life II y que pueden usar baja viscosidad. Ahorradores de combustible. |
| VW 506.01 | Para motores a partir del año 2000, con inyección directa por inyector bomba, con servicio long life III (largo intervalo de mantenimiento, de 30 000 a 50 000 km) y que pueden usar baja viscosidad. Ahorradores de combustible. |
| VW 507.00 | Indicados para vehículos que cumplen la normativa anticontaminación Euro 4, con y sin DPF, que necesitan lubricantes con bajo nivel de SAPS, con servicio long life III (largo intervalo de mantenimiento, 30 000 a 50 000 km). Válidos para motores con inyector bomba. |

Es importante respetar en los motores de inyector bomba la especificación indicada por el fabricante, pues estos aceites llevan aditivos que no dañan las cablerías de los inyectores que van bañadas en aceite.

Si se llegaran a dañar los cables, podría provocarse inestabilidad de los motores al ralentí. Si esto sucede hay que proceder a la sustitución de dichas cablerías y de los inyectores y, por supuesto, sustituir el lubricante por el recomendado por el fabricante para inyector-bomba.

## 3 >> Tipos de lubricación

Todas las piezas móviles del motor necesitan ser engrasadas pero, debido a las características propias de cada una de ellas, el modo de lubricación no se realiza de la misma manera. Por ello, existen distintos tipos de lubricación:

– Engrase directo a través del combustible.
– Lubricación por barboteo.
– Lubricación forzada por presión.

### 3.1 > Engrase directo a través del combustible

**El engrase directo a través del combustible consiste bien en añadir el aceite directamente al combustible que se va a emplear en el motor o bien echar ambos en dos depósitos distintos, debiendo existir en este caso un mezclador automático que dosifique la proporción adecuada en función de la carga y las revoluciones.**

Este tipo de engrase es utilizado en motores de dos tiempos porque estos utilizan el cárter para la precompresión de la admisión y no como depósito de aceite.

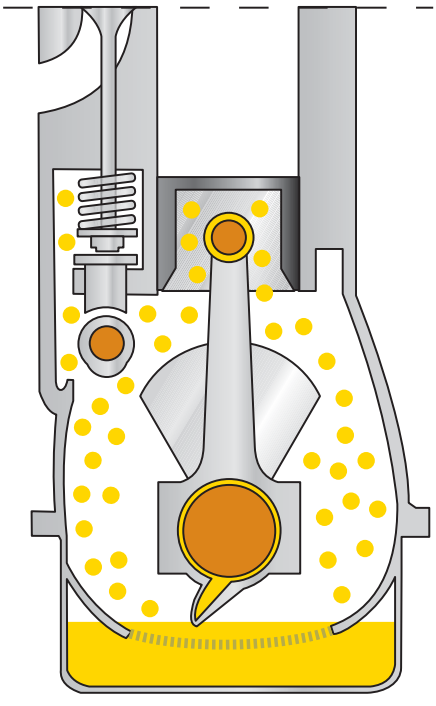
La proporción de aceite en el combustible suele estar comprendida entre el 2 y el 5%. La mezcla pasa por el cárter y engrasa el cigüeñal, las bielas y la parte baja del cilindro, realizando una lubricación de tipo semifluida y luego entra con la mezcla por el colector de admisión, lubricando la parte alta del cilindro, quemándose gran parte de la mezcla en la cámara de combustión. Este es el principal inconveniente de este tipo de lubricación, pues se producen emisiones contaminantes difíciles de controlar.

### 3.2 > Lubricación por barboteo

**En la lubricación por barboteo el motor lleva un depósito, llamado cárter, en la parte baja. Este depósito almacena el lubricante a un nivel concreto para que las cabezas de biela recojan aceite del cárter con una especie de cucharillas.**

Parte del aceite lo envían a las muñequillas de biela o de bancada y otra parte la proyectan por la parte baja del motor (figura 14.11) formando una niebla aceitosa que se recoge en pequeños pozos que presentan orificios en su parte inferior, situados sobre zonas a lubricar. El lubricante cae posteriormente por gravedad de nuevo al cárter.

Esta lubricación se usaba cuando el árbol de levas y las válvulas estaban en el bloque, pues no era posible subir el lubricante hasta la culata. Es una lubricación de tipo **semifluido por impregnación**, en la que no se pueden alcanzar grandes revoluciones porque se produce cavitación en cabezas de biela y cigüeñal y tampoco pueden existir grandes cargas. Por todo ello, este tipo de lubricación está totalmente en desuso.



**14.11.** Lubricación por barboteo.

#### Cavitación

Es un fenómeno que sucede cuando en un líquido se desplaza un sólido a gran velocidad. Detrás del sólido se crea una depresión que produce unas burbujas de gas con presión inferior a la del líquido. Cuando el sólido se encuentra con estas burbujas implotan y se producen fuerzas muy importantes que desprenden material del sólido, produciendo un picado en este.

La cavitación se produce en las cabezas de las bielas si golpean en el aceite del cárter, en camisas húmedas debido a la vibración y, sobre todo, en bombas de agua, produciéndose el picado y destrucción de los álabes de la bomba.

## 3.3 > Lubricación forzada por presión

En los motores actuales se hace imprescindible una excelente lubricación de todas las partes móviles debido a las importantes solicitaciones mecánicas a las que están sometidas. Esto se consigue con la lubricación forzada por una bomba, movida por el cigüeñal, que se encarga de generar presión y caudal suficientes para hacer llegar el lubricante a través de canalizaciones especiales a todas las partes del motor que necesiten lubricación.

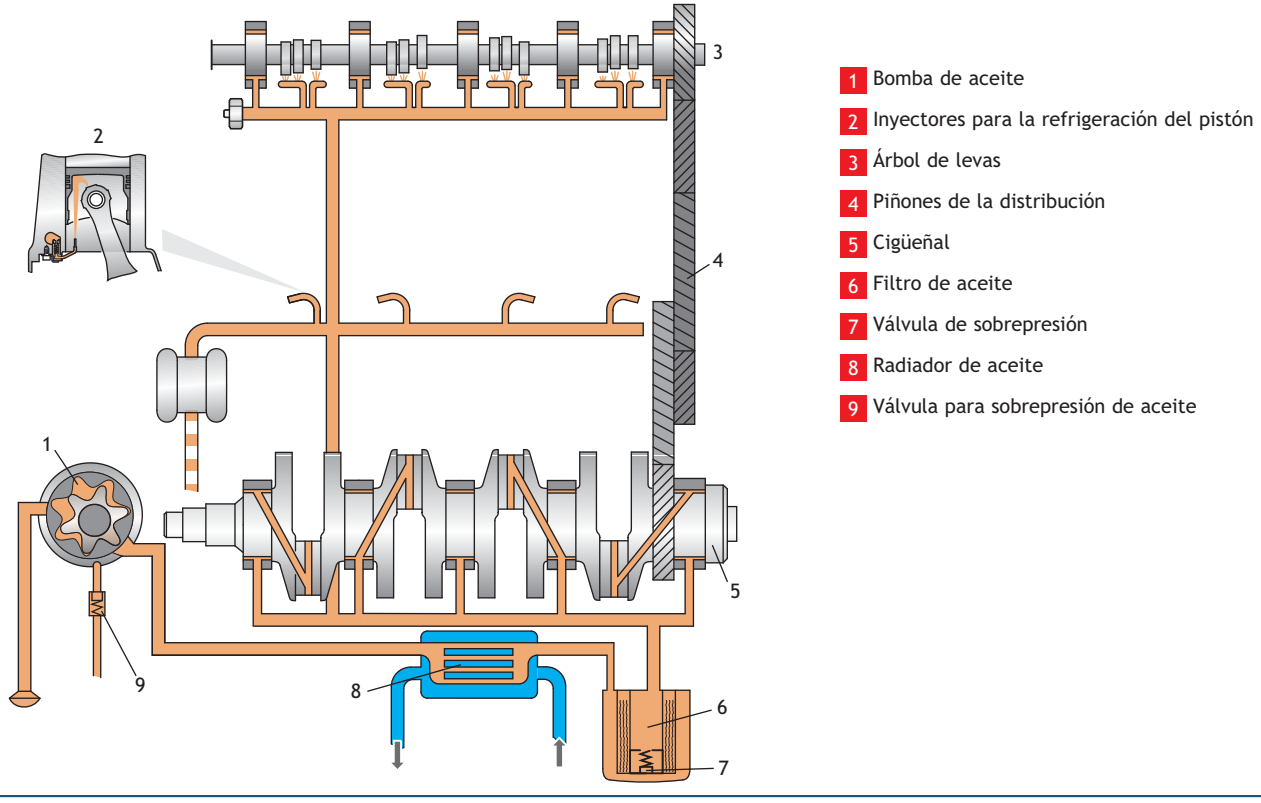
Esta lubricación puede ser:

– De cárter húmedo. Es la más extendida.
– De cárter seco. Utilizada en motocicletas, todoterrenos y vehículos de competición.

### Lubricación forzada por cárter húmedo

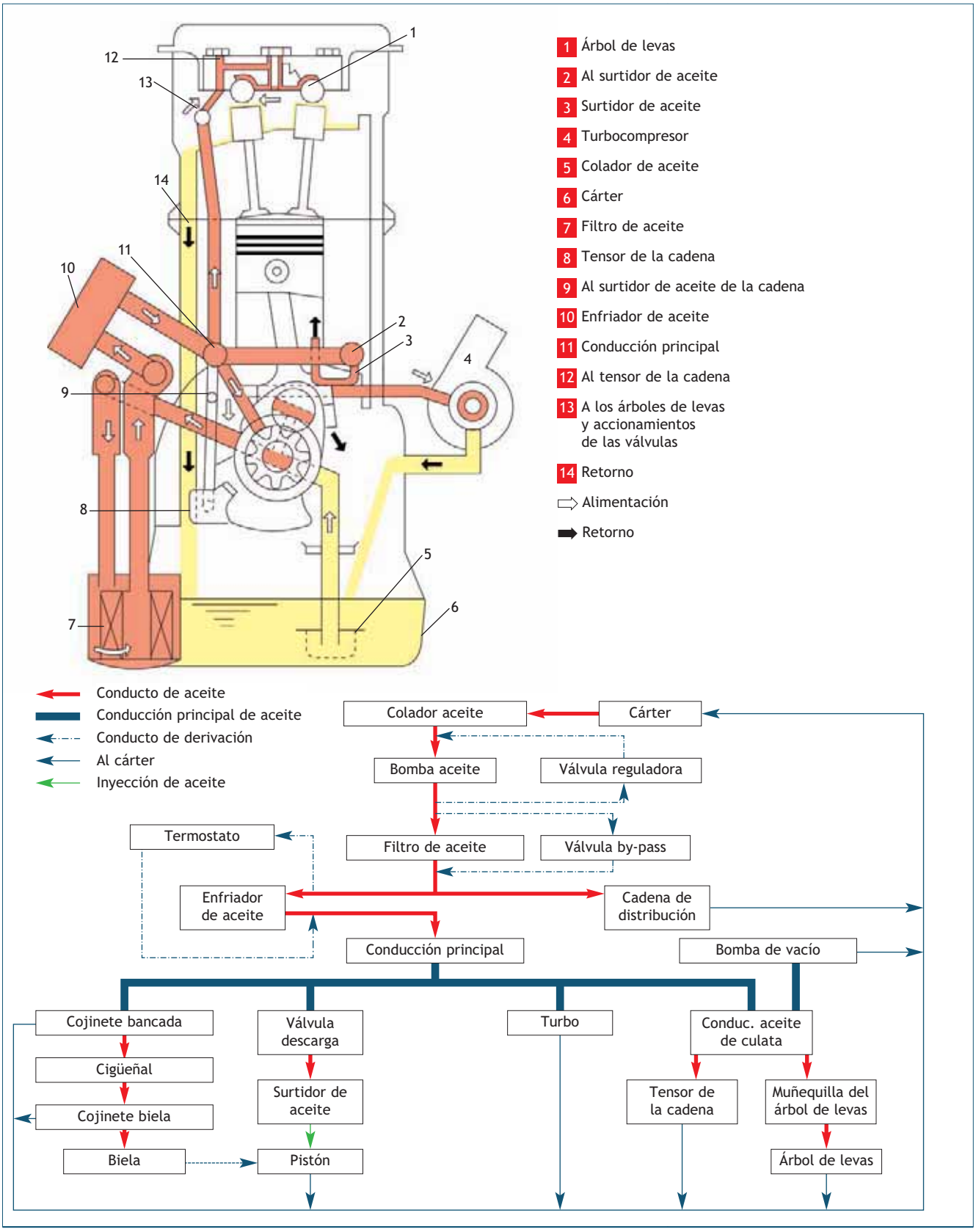
**En la lubricación forzada por cárter húmedo existe un circuito (figura 14.12) que comienza con una bomba que conduce el lubricante a presión a todas las partes a lubricar. El motor dispone de un depósito, situado en la parte baja del motor, llamado cárter, que almacena el lubricante.**

En este depósito va sumergida una bomba, accionada por el cigüeñal, que coge el lubricante a través de una rejilla, para evitar coger impurezas grandes, y posteriormente enviarlo a presión a un filtro. La bomba lleva una válvula de regulación de presión máxima.




1 Bomba de aceite
2 Inyectores para la refrigeración del pistón
3 Árbol de levas
4 Piñones de la distribución
5 Cigüeñal
6 Filtro de aceite
7 Válvula de sobrepresión
8 Radiador de aceite
9 Válvula para sobrepresión de aceite

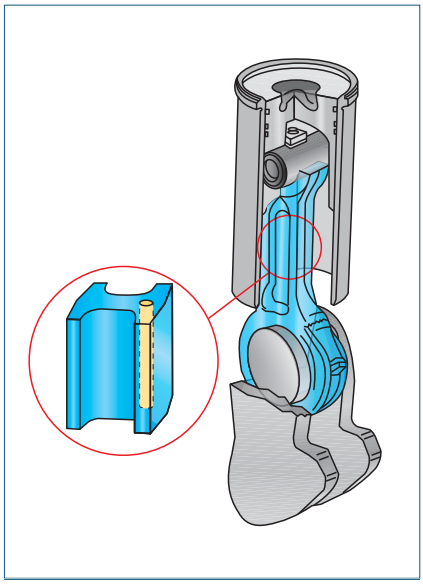
**14.12.** Circuito de lubricación.



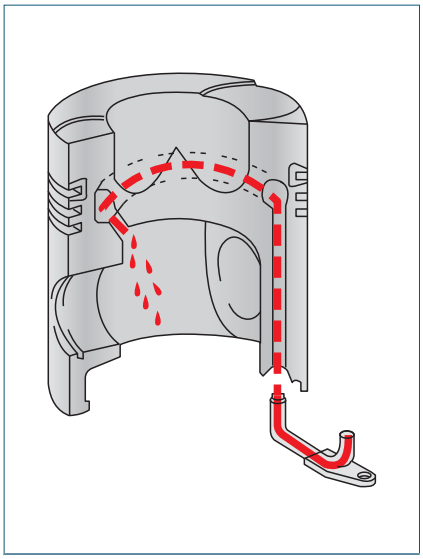

**14.13.** Circuito de lubricación y diagrama de flujo del circuito.

El filtro se encarga de filtrar y almacenar las impurezas más finas del lubricante, después pasa a una galería principal de engrase donde se distribuye a distintos circuitos que conducen el aceite a presión a todas las partes a lubricar dentro del motor, dando preferencia a las muñequillas de bancada; de ahí a través de taladros interiores en el cigüeñal va a lubricar las muñequillas de biela y de aquí a través de otro canal puede ir hasta el bulón (figura 14.14) o bien tener un taladro en la cabeza de biela que proyecta el aceite hacia la parte baja de la cabeza del pistón para refrigerar y engrasar. La parte baja de la cabeza del pistón y los cilindros también se pueden engrasar directamente desde la galería principal a través de unos inyectores.

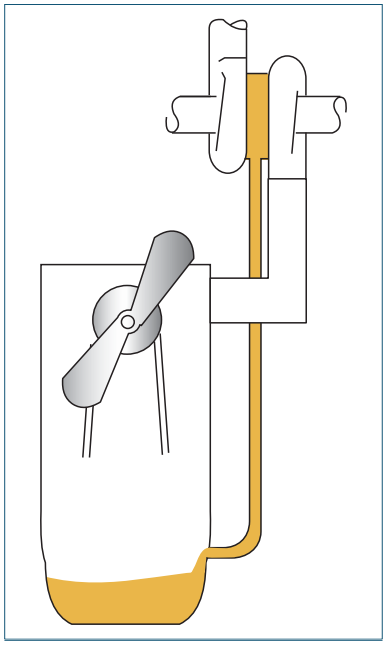
Algunos pistones tienen un canal interior en la cabeza del pistón por donde les entra lubricante para refrigerarlos (figura 14.15).



**14.14.** Subida de aceite hasta el bulón.



**14.15.** Refrigeración del pistón por chorro de aceite y canal interior.



**14.16.** Retorno de aceite del turbocompresor.

De la galería principal también sale una canalización que conduce lubricante fresco al eje del turbocompresor para engrasar y refrigerar dicho eje. Una vez refrigerado y lubricado el eje, el aceite es devuelto al cárter por la fuerza de la gravedad (figura 14.16).

De la galería principal también puede ir al tensor de la cadena de la distribución, si lo llevara.

Por último, el aceite sube a la culata, donde engrasa los apoyos del árbol de levas, las levas y el accionamiento de la distribución variable, si lo llevase.

Una vez lubricadas las muñequillas de bancada y de biela el aceite es proyectado en los extremos de los cojinetes, siendo centrifugado además por el movimiento del cigüeñal, creando una niebla de aceite que lubrica por impregnación los cilindros, y el aceite cae por la fuerza de la gravedad a través del segmento de engrase que lo va rascando y haciendo que entre al interior del pistón por unos orificios (figura 14.17) para que lo refrigere y de ahí, pasa al cárter.

**14.17.** Orificios por donde entra el aceite al interior del pistón.

En algunas bielas, el pie tiene un orificio en su parte más alta para almacenar el aceite y lubricar el bulón flotante.

Después del filtro, en la galería principal de engrase, se encuentra un manocontacto de presión o presocontacto que enciende un testigo rojo en el cuadro de mandos cuando no hay suficiente presión para que el conductor pare el motor.

### Lubricación forzada por cárter seco

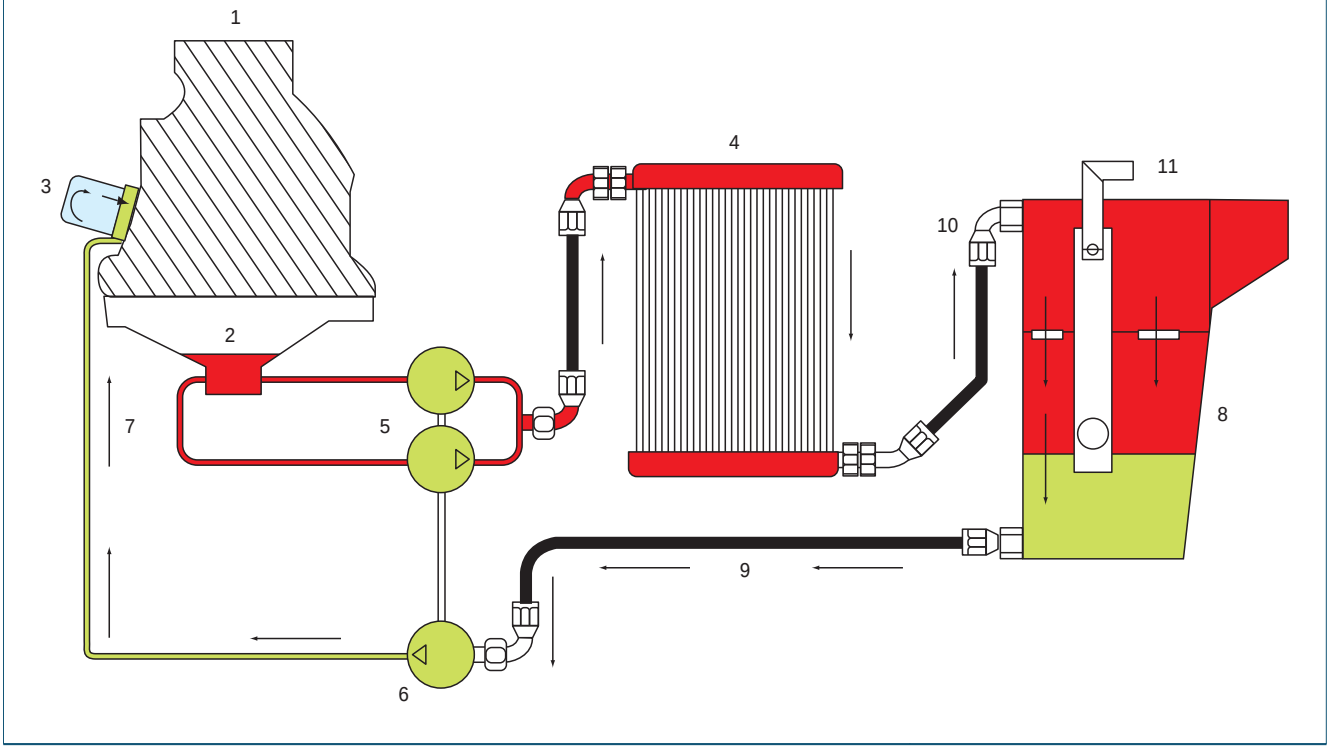
**En la lubricación forzada por cárter seco no hay un cárter debajo del motor (figura 14.18) sino que existe un pequeño recipiente donde se acumula el aceite sobrante de la lubricación y refrigeración. Este aceite está gasificado y caliente, de ahí es absorbido por una o dos bombas que lo envían a un refrigerador de aire/aceite para que se condense al bajar su temperatura. Después pasa al depósito, donde sirve de decantador y es absorbido por la bomba de presión del circuito y enviado a la galería principal de engrase por un latiguillo.**

Las ventajas de este tipo de lubricación son:

– Menor altura del motor, por lo que baja el centro de gravedad del vehículo.
– Refrigeración del aceite y lubricación de piezas aseguradas en cualquier condición de inclinación del vehículo.

Es un tipo de lubricación utilizada en motos de trial, todoterrenos, en vehículos de competición y en algún turismo de lujo.

1. Motor
2. Recogedor de aceite
3. Filtro
4. Radiador
5. Bomba de aspiración
6. Bomba de presión
7. Aceite gasificado caliente
8. Depósito
9. Aceite desgasificado frío a baja presión
10. Aceite gasificado frío
11. Al recuperador




**14.18.** Circuito de lubricación forzada por cárter seco.

## 4 >> Elementos de un circuito de lubricación

Los circuitos de lubricación más extendidos son los de lubricación forzada con cárter húmedo, en los que existe un cárter del que la bomba de aceite coge el lubricante y lo manda al filtro, pasando por una válvula limitadora de presión, para pasar a un refrigerador y de ahí al motor.

También existe un circuito de ventilación de los vapores que se producen en el cárter.

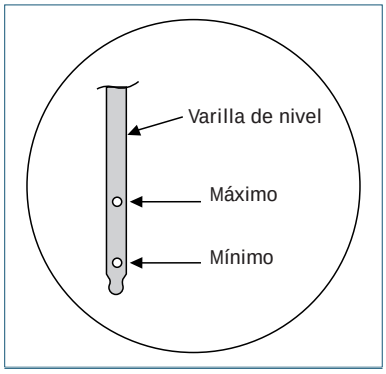
### 4.1 > Cárter

**El cárter es el recipiente donde se almacena el lubricante. Suele ir situado en la parte inferior del bloque motor.**

El material de fabricación del cárter suele ser de chapa, de aluminio o mixto, con la parte inferior de chapa y la superior de aluminio. Si se produce algún golpe la chapa se deforma y no suele haber fugas como ocurre con el aluminio. Sin embargo, el aluminio refrigera el lubricante mucho mejor que la chapa.

El cárter está provisto de un **tapón** que se emplea para realizar el vaciado del aceite. En el cárter también puede ir situado un **sensor de temperatura y un sensor de nivel.**

La cantidad de lubricante que existe en el cárter puede ser medida por medio de una varilla (figura 14.19), provista de marcas indicadoras de niveles máximo y mínimo, existiendo entre ellas normalmente una diferencia de volumen de un litro.




**14.19.** Varilla indicadora de nivel de aceite.

### 4.2 > Bomba de aceite

**La bomba de aceite es el elemento encargado de coger el lubricante del cárter, aumentarle su presión y dar un caudal suficiente para que llegue a todas las partes a lubricar.**

La bomba de aceite está situada por debajo del cigüeñal, con un conducto que va sumergido en el cárter. Generalmente es accionada por el propio cigüeñal a través de una cadena o conjunto de engranajes. Se puede conseguir que el cigüeñal sea su eje o bien, accionarla por el árbol de levas a través de una varilla solidaria a un piñón. El aceite es recogido del cárter por un tubo que en su extremo lleva un tamiz que filtra de partículas gruesas el lubricante para evitar daños en la bomba. También en él se encuentra la **válvula de derivación** que abre la entrada directa al lubricante si el tamiz se colmata o si el lubricante está demasiado viscoso para evitar daños en el motor por falta de presión.

También existe la **válvula limitadora de presión.** Al girar la bomba envía el aceite al circuito de lubricación a una presión que está limitada por dicha válvula, que cuando se alcanza su presión máxima de tarado envía el aceite a presión de nuevo al cárter, evitando así las sobrepresiones que pueden producir fugas por los retenes o juntas.

Las presiones más elevadas se consiguen a altas revoluciones y también cuando el aceite está frío; en ese momento la presión empuja la bola o el

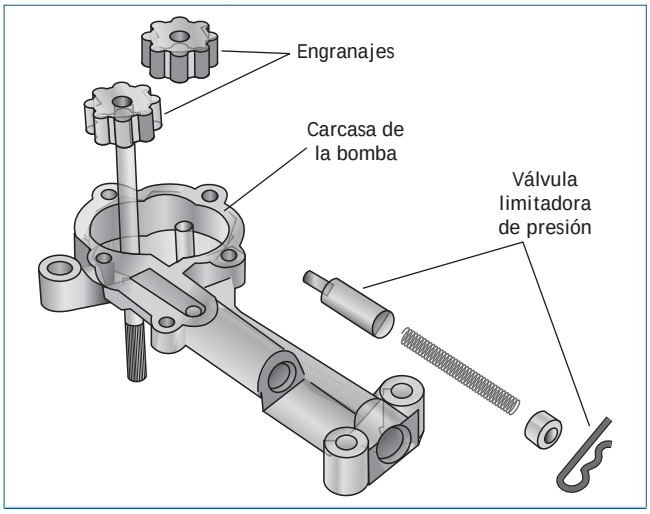
Práctica 17

Práctica 20

pistón que hacen de tapón en la válvula, empujada por un muelle, abriendo así un retorno parcial al cárter. La otra parte es enviada al circuito de engrase a la presión de tarado del muelle de la válvula. Esta válvula puede ir integrada en la bomba o en cualquier canalización, vertiendo el sobrante al cárter.

Si el motor está gastado y tiene mayores holguras entre muñequillas y cojinetes, la presión en los conductos será menor hasta que abra la válvula de descarga, que abrirá más tarde para compensar las mayores fugas; a partir de ese punto se mantiene la presión máxima de tarado. En este caso también tardará más en apagarse la luz de baja presión de aceite al arrancar y en casos extremos llegará a quedarse encendida a ralentí.

Existen los siguientes tipos de bombas de aceite para motor:

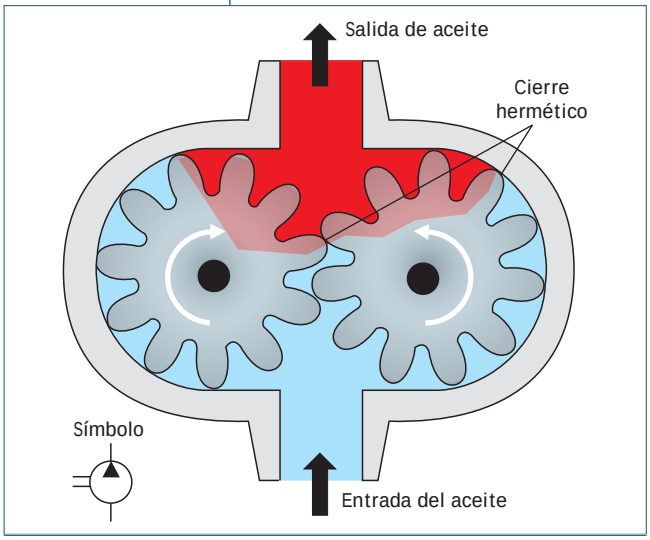



**14.20.** Despiece de una bomba de aceite de engranajes.

### Bomba de engranajes

**Esta bomba consiste en dos engranajes que giran encerrados en una carcasa, con unas dimensiones muy precisas que se ajustan al contorno exterior de los engranajes y, además, crea dos cámaras, la de admisión y la de escape (figura 14.20).**

Uno de los engranajes es accionado a través de su eje por el cigüeñal o el árbol de levas y este hace girar en sentido contrario al segundo engranaje que gira loco sobre su eje. Al girar los engranajes (figura 14.21), en la cámara de admisión que está conectada al tubo de entrada sumergido en el cárter se crea una depresión porque el aceite es enviado desde ahí, entre los dientes exteriores de los engranajes y la carcasa, a la cámara de escape donde se acumula el aceite y sube su presión para ser enviado al filtro, pasando previamente por la válvula limitadora de presión.



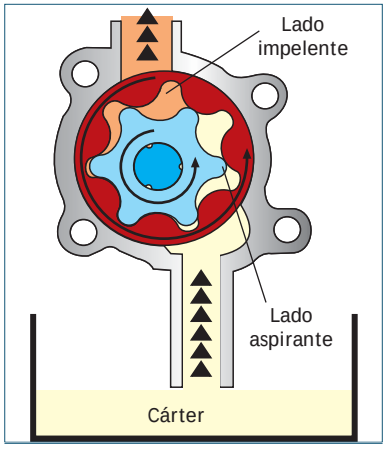

**14.21.** Funcionamiento de la bomba de aceite de engranajes.

Este tipo de bomba es menos sensible a las partículas de suciedad del lubricante, pero a bajas revoluciones consigue menor presión que otros tipos de bombas; por eso se usa poco hoy en día.

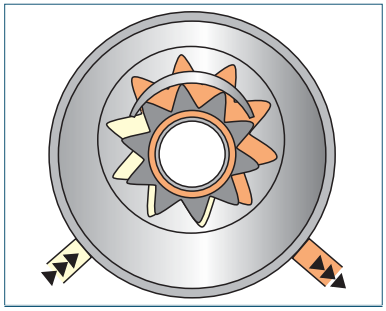
### Bomba de rotor

**La bomba de rotor consta de un rotor accionado a través de una varilla (figura 14.22) que gira arrastrando un anillo circular en la parte exterior y con lóbulos en la interior. El anillo tiene un lóbulo más que dientes tiene el rotor.**

Debido a la diferencia de posición de los ejes de rotación para el rotor y el anillo, al girar ambos se produce un aumento del espacio por el lado




**14.22.** Bomba de aceite de rotor o de lóbulos.



14.23. Bomba de aceite de media luna.

aspirante, absorbiendo el aceite del cárter; pero por el lado impelente va disminuyendo su volumen y, por consiguiente, aumentado la presión del aceite para ser enviado al filtro, pasando previamente por la válvula limitadora de presión.

En algunos motores la bomba va colocada en el propio cigüeñal y ese rotor es accionado directamente por una chaveta o por una forma poligonal del propio cigüeñal para transmitir el movimiento al rotor.

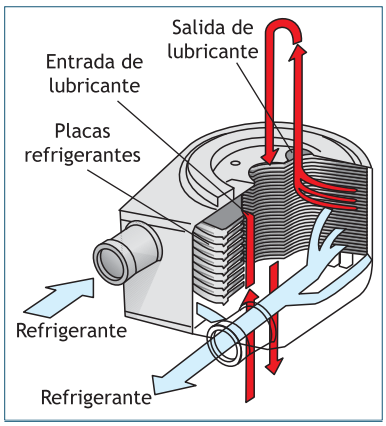
Esto tiene la ventaja de eliminar piezas como ejes, engranajes, cadenas, etc., reduciendo el peso y los rozamientos. También son llamadas bombas *duocentric,* nombre que describe la forma geométrica del dentado que tienen el rotor y el anillo dentado interiormente.

La bomba de rotor es la más utilizada actualmente debido a su gran capacidad de generar presión, aunque es algo más sensible a la suciedad, por lo que el filtrado debe ser mejor que en otro tipo de bombas.

Existe una variante de la bomba de rotor que consiste en un rotor y un anillo pero con una diferencia de lóbulos entre ambos de 3 ó 4 lóbulos más en el anillo que en el rotor, quedando mayor separación entre estos y siendo este hueco ocupado por una pieza de acero en forma de media luna. Estas bombas son llamadas **bombas de media luna** (figura 14.23). Su funcionamiento y características son iguales que las bombas de rotor convencionales.

### Bombas reguladas

Existen en la actualidad bombas de aceite controladas para reducir el consumo de combustible mediante regulación del caudal volumétrico. Se regula la presión y el caudal en función de las revoluciones, carga del motor y temperatura del aceite. Se consiguen reducciones de consumo de combustible en torno al 1 por 100, en conducción normal, pero en conducción a altas revoluciones el ahorro es mucho mayor, pues no se genera más presión que la realmente necesaria. Este tipo de bombas reguladas no necesitan válvula limitadora de presión, pues nunca dan una presión o caudal mayor del que necesitan, evitando así pérdidas de rendimiento.




14.24. Intercambiador aceite/agua.

## 4.3 > Refrigerador de aceite

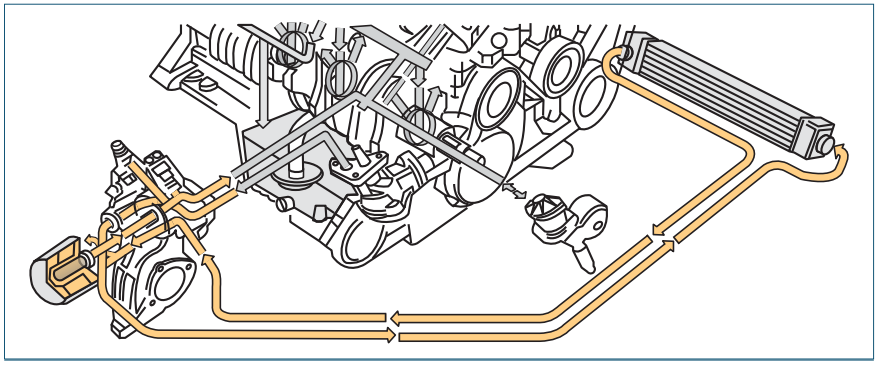
El aceite lubrica y refrigera las piezas, aumentando su temperatura de forma notable. Los vehículos turboalimentados elevan mucho más la temperatura del aceite al refrigerar también el eje del turbo, llegando a alcanzar temperaturas críticas de hasta 180 °C, que hacen que el aceite pierda viscosidad y capacidad de lubricación, además de evaporarse y carbonizarse más fácilmente.

Para evitar todo esto se puede refrigerar el lubricante:

– Con agua del circuito de refrigeración, que suele estar a 90 °C.
– Mediante aire.

Esta operación se suele hacer antes del filtrado. Cuando se realiza la refrigeración del lubricante con agua (figura 14.24) se hace a través de un **intercambiador agua/aceite,** que suele ir intercalado entre el bloque y el filtro. En este intercambiador, el aceite pasa por unos tubos finos que van bañados en agua del circuito de refrigeración para bajar la temperatura del aceite hasta los 90 °C aproximadamente. Si existe un problema en este intercambiador se puede producir el mezclado de aceite y refrigerante. Siempre que haya mezcla de agua y aceite habrá que verificar primero este elemento.

Otra forma de refrigerar el lubricante es enviarlo a través de unas tuberías rígidas o manguitos a un **radiador aire/aceite** (figura 14.25), donde el lubricante se refrigera con el aire ambiente. La ventaja de este tipo de refrigeración es que es más eficaz que la anterior porque el gradiente de temperaturas entre el aceite y el aire es mayor que el del agua y el aceite.



**14.25.** Radiador aceite/aire.

Entre los inconvenientes se pueden citar los siguientes:

– Mayor complejidad por necesitar tuberías.
– Tener que destinar un espacio para el radiador, generalmente en el morro del vehículo.
– Necesita una válvula termostática para que la temperatura del aceite no baje demasiado, cosa que no pasa con el refrigerante pues nunca puede bajar más de 90 °C con el motor caliente.

## 4.4 > Filtro de aceite

El lubricante se llena de residuos debido a:

– La degradación propia por aumentos de temperatura, cizallamiento, etc.
– Residuos de la combustión.
– Partículas metálicas procedentes del motor debido a rozamientos, polvo, etc.

Los vehículos sobrealimentados deterioran y ensucian más rápidamente el aceite porque el eje del turbo está a altas temperaturas y el aceite se carboniza fácilmente. Todos estos residuos y partículas se encuentran en suspensión en el lubricante, afectando negativamente a la eficiencia del mismo y produciendo desgastes en la bomba de aceite y en el propio motor.

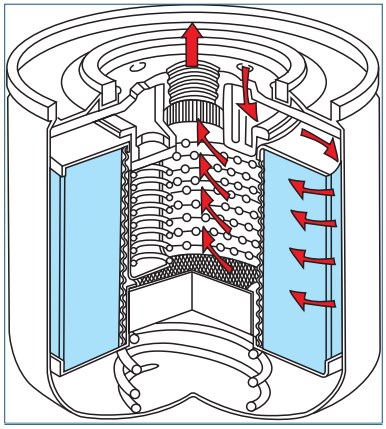
Para evitar esto se usa un filtro de aceite que limpia de impurezas el lubricante, alargando la vida de este y, por tanto, la vida de la bomba de aceite, del turbo y del propio motor. El filtro de aceite debe sustituirse periódicamente para eliminar las impurezas filtradas que se van acumulando en él. Este intervalo oscila, según modelo de motor y fabricante, entre los 10 000 y los 50 000 km.

El elemento filtrante está constituido por un papel microporoso especial plegado en forma de fuelle circular para aumentar su superficie filtrante y así alargar su intervalo de cambio y asegurar el filtrado durante su vida útil, además de reducir al máximo su espacio.

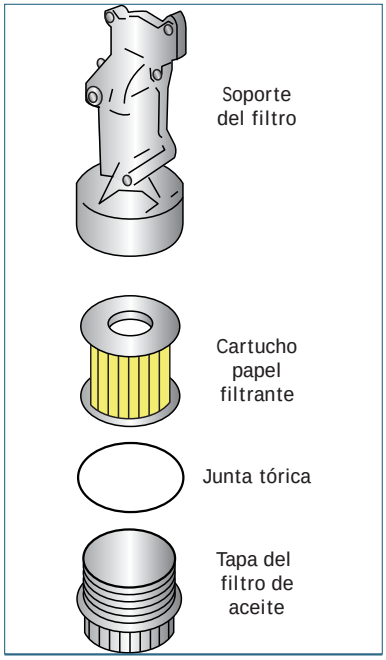
Los poros del papel son aproximadamente de 1 a 5 micras (µm), dependiendo del tipo de motor donde se vaya a montar.

Existen en la actualidad dos tipos de filtros:

– Filtros blindados.
– Filtros de cartucho.



**14.26.** Filtro de aceite blindado y flujo de aceite.




**14.27.** Filtro de aceite de cartucho.

### Filtros blindados

Los filtros blindados constan de papel filtrante, una válvula de seguridad por si el filtro se obstruye, una rosca de acoplamiento por donde se sujeta al bloque o al intercambiador de aceite/agua y una cubierta exterior de chapa que protege al elemento filtrante.

Estos filtros llevan una junta plana para evitar fugas entre filtro y bloque o refrigerador que viene siempre con los filtros nuevos. En estos filtros el aceite entra por unos orificios que existen en la periferia de la superficie de acoplamiento al motor y pasa a través del papel filtrante, saliendo el lubricante filtrado por el centro del filtro (figura 14.26).

Este tipo de filtros son los más habituales en los coches actuales.

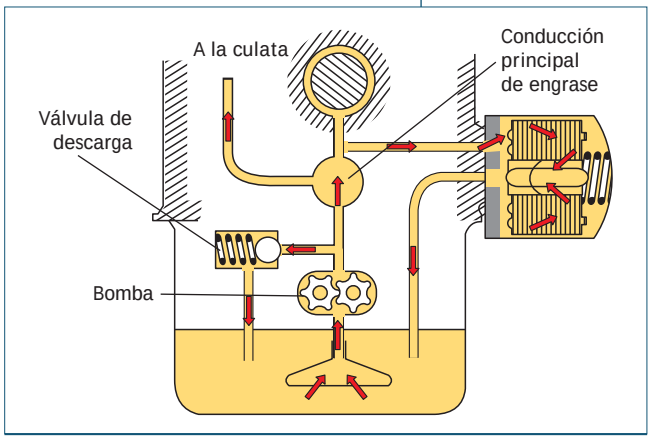
### Filtros de cartucho

Los filtros de cartucho están constituidos por un cartucho de papel filtrante quedando la válvula de seguridad y el soporte del filtro en el motor, siendo estos siempre los mismos (figura 14.28).

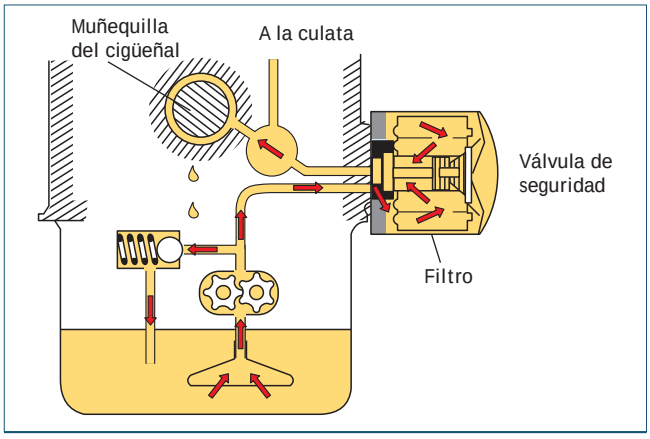
El soporte del filtro suele tener una tapa a rosca, con una junta tórica para hacer la estanqueidad, que al quitarla deja al descubierto el cartucho para ser sustituido.

Se puede hacer una clasificación según la forma de filtrado:

– **Filtrado en paralelo.** La bomba coge el aceite del cárter y lo envía al motor y al filtro, volviendo al cárter una vez filtrado (figura 14.28). Este tipo de filtros puede no llevar la válvula de seguridad interna porque si se obstruyen por suciedad el aceite sigue llegando al motor y no compromete su lubricación.
– **Filtrado en serie.** En este tipo de filtrado el aceite enviado por la bomba pasa directamente al filtro llegando a continuación al motor (figura 14.29). Así se garantiza que todo el aceite enviado al motor es filtrado, pues todo el lubricante pasa previamente por el filtro. Estos filtros llevan una válvula interna que lo puentea en caso de obstrucción. Una obstrucción puede llegar a evitar el paso del aceite al motor produciéndole serios daños. Es el más utilizado en la actualidad.




**14.28.** Filtrado de aceite en paralelo.




**14.29.** Filtrado de aceite en serie.

## 4.5 > Manocontacto de presión o presocontacto

**El presocontacto de aceite mide la presión del lubricante, una vez refrigerado y filtrado, en la galería principal de engrase donde está colocado.**

Si la presión medida es demasiado baja y, por tanto, peligrosa para la integridad del motor, enciende un testigo rojo en el salpicadero para indicar al conductor que pare inmediatamente.

Otras veces se instala un manómetro que mide la presión del aceite y se muestra en un reloj en el cuadro de mandos, informando al conductor en todo momento de la presión que existe.

## 4.6 > Canalizaciones de aceite

**De la galería principal de engrase, en la que se sitúa el presocontacto de aceite y se acumula aceite a presión, salen todos los conductos importantes de aceite a distintas partes del motor, como pueden ser los casquillos de bancada de cigüeñal, los inyectores de aceite para la parte baja de pistón y cilindro, el turbocompresor, la subida de aceite a la culata, etc.**

Estas canalizaciones son taladros que se realizan durante la mecanización del bloque y la culata. Posteriormente se colocan tapones para evitar fugas de aceite al exterior. Los inyectores que proyectan lubricante a la parte baja del pistón y del cilindro son, en realidad, válvulas con una bola y un muelle que abren a una presión de 1,5 a 1,8 bar, dependiendo del motor y mediante un tubo de proyección con una orientación adecuada y un estrechamiento calibrado para realizar una proyección de aceite correcta.

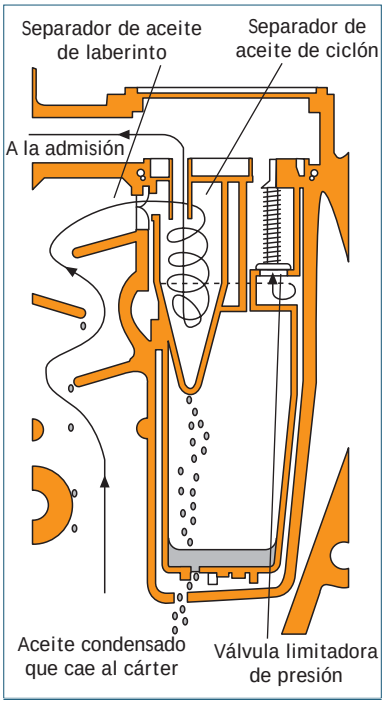
## 4.7 > Sistema de ventilación del cárter

En el cárter existen vapores procedentes de la compresión, gases de combustión, vapor de agua y también vapores de aceite. Todos estos vapores, exceptuando los propios del aceite, contaminan y deterioran el lubricante, además de ser muy contaminantes por su alto contenido en hidrocarburos (HC), y de estar a una presión superior a la atmosférica que puede producir fugas por los retenes o juntas.

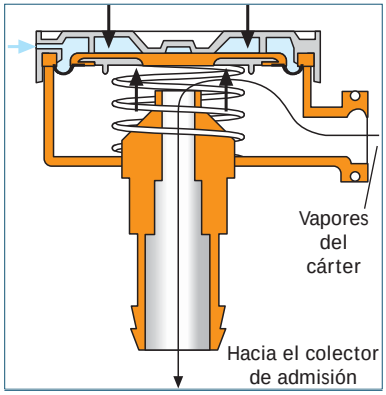
No se pueden emitir estos gases a la atmósfera al ser contaminantes. La solución es hacer que lleguen a la cámara de combustión a través del colector de admisión y que ahí sean quemados para reducir su toxicidad, evitar la sobrepresión y la contaminación del aceite.

En primer lugar, los gases procedentes del cárter se canalizan en un tubo que conduce a un filtro condensador de mayor sección que el tubo, aumentado así la presión y, por tanto, favoreciendo su condensación. Además, en el interior se hace que los gases giren de forma ciclónica y que atraviesen un laberinto para favorecer aún más la condensación, haciendo que el aceite condensado caiga por gravedad al cárter (figura 14.30).

Los gases, junto con pequeñas partículas de aceite que no se han condensado, deben entrar en las cámaras de combustión a través del colector de admisión. En los motores de gasolina se hace por debajo de la mariposa para aprovechar la depresión que existe para succionarlos.




**14.30.** Sistema de ventilación del cárter.




**14.31.** Válvula de membrana.

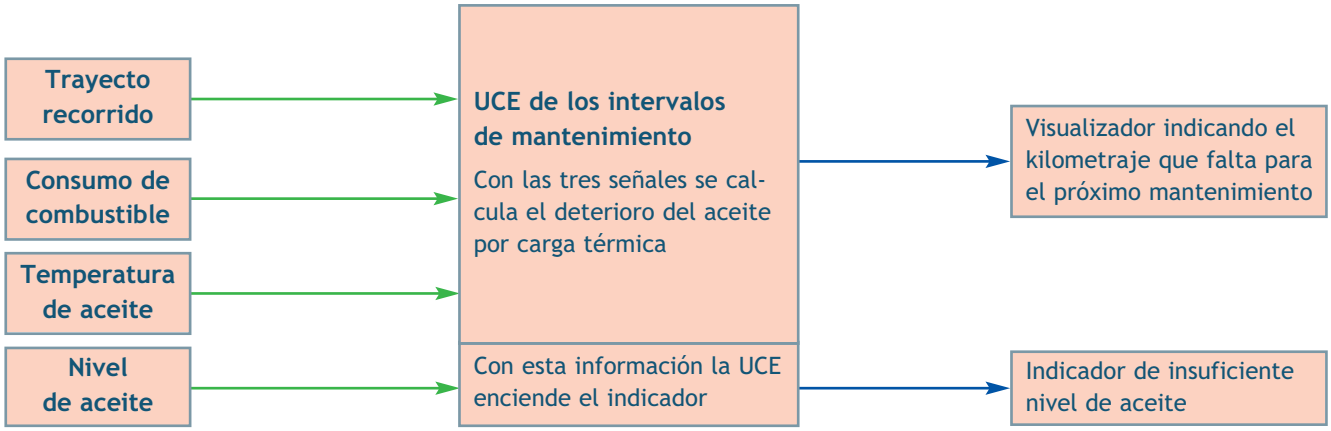
En los motores sobrealimentados la presión en el colector de admisión puede ser bastante alta y para que no se transmita al cárter se coloca una válvula (figura 14.31) que se cierra cuando la presión es mayor en el colector que en el cárter.

## 4.8 > Equipo para prolongar los intervalos de mantenimiento

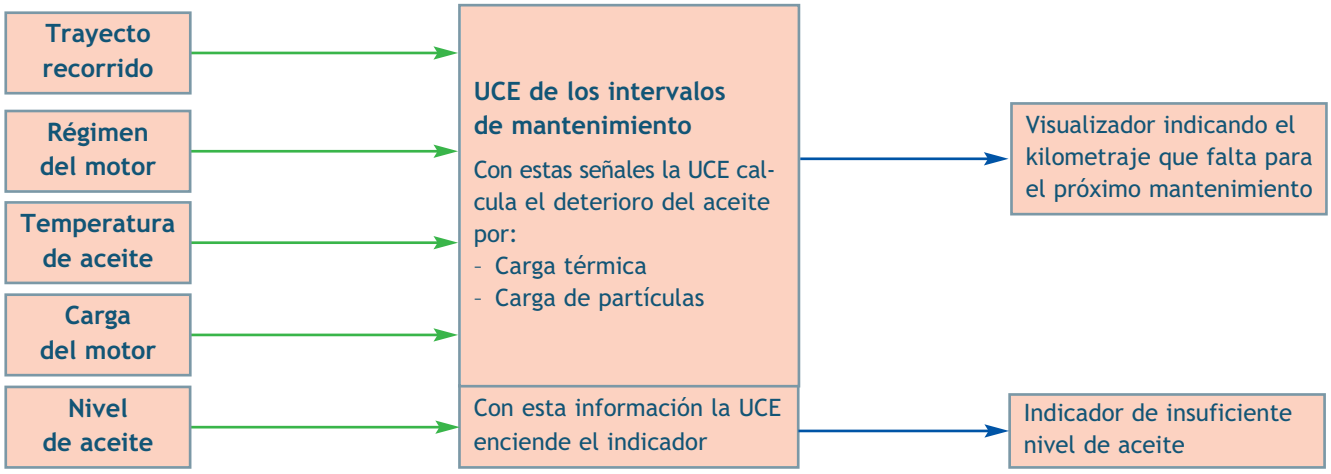
En la actualidad se tiende a prolongar los intervalos de mantenimiento para que el cliente tenga que ir menos al taller y utilizar menor cantidad de lubricante. Los intervalos de servicio tienden a ser, además, flexibles pues un intervalo fijo no sirve para todos los tipos de conducciones. Sin embargo, un intervalo flexible se adapta a cada tipo de conducción.

Para alargar el periodo de mantenimiento se utilizan aceites denominados de larga duración *(long life)* y diferentes sensores que informan a una centralita del estado del lubricante a través de su temperatura, su nivel y el tiempo que lleva en el cárter para determinar cuándo se debe hacer el próximo mantenimiento.

Para determinar el kilometraje restante hasta el próximo servicio en motores de gasolina, se sigue el siguiente procedimiento:




En cambio para determinar el kilometraje restante hasta el próximo servicio en motores diésel, se sigue este procedimiento



### Sensor de nivel

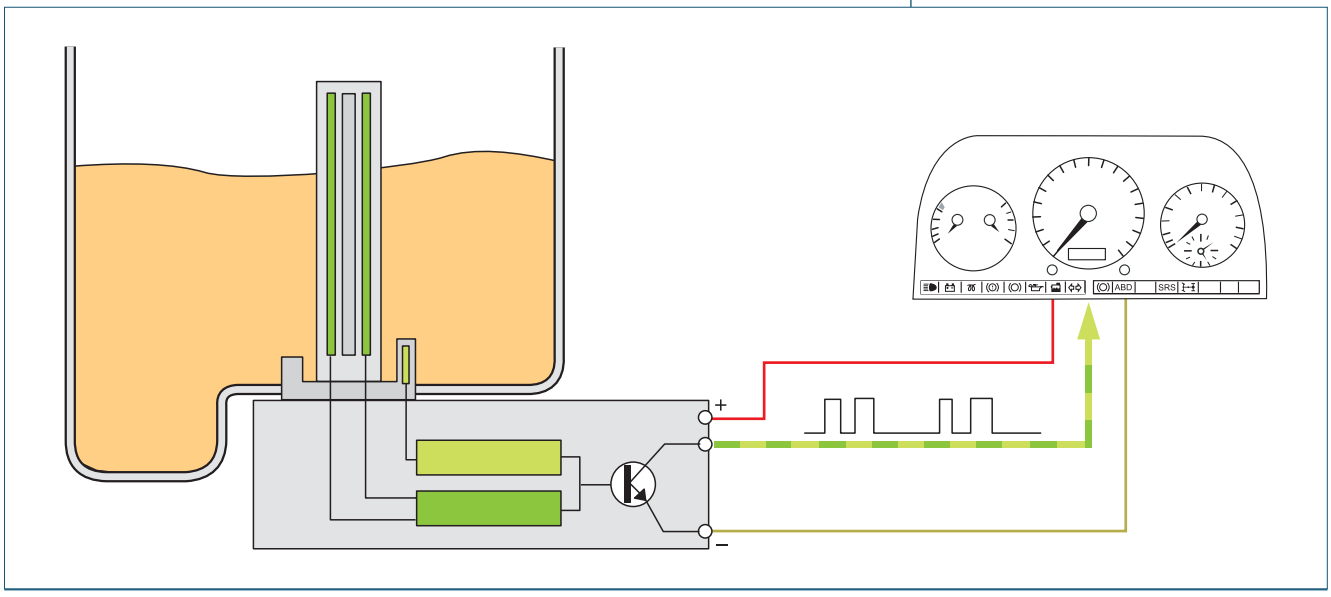
El sensor de nivel indica al conductor cuándo el nivel de lubricante en el cárter está bajo y es peligroso para la integridad del motor y, por lo tanto, es necesario restablecer el lubricante que falta.

**El sensor de nivel es una resistencia que varía su valor óhmico en función de la cantidad de contacto que tenga con el aceite. Está parcialmente sumergido en el cárter y recibe la información de nivel enviándola a una unidad de control que, cuando le llega la señal de insuficiente nivel, manda una señal eléctrica a un testigo en el cuadro de mandos, indicando al conductor insuficiente nivel de aceite.**

Existen otro tipo de sensores de nivel que son calentados por la centralita durante unos segundos a una temperatura superior a la del aceite. Al desconectar la resistencia de calefacción del sensor este se enfría por el aceite y la centralita mide el tiempo que tarda en enfriar. En función de ese tiempo determina la cantidad de lubricante que hay. Cuanto mayor es el tiempo de enfriamiento menor es el nivel de aceite y viceversa. Este tipo de sensor de nivel va combinado con el de temperatura (figura 14.32).

**Red CAN**

CAN significa *Controller Area Network* (red de área de controlador) y sirve para que las unidades de control estén interconectadas e intercambien información o datos entre sí, ahorrando sensores y cables de señales; consiguen una gran rapidez de transmisión, con conectores y centralitas más pequeñas. Cuanta más información reciba una centralita de lo que sucede en los demás sistemas, mejor puede realizar su función específica.




**14.32.** Sensor combinado de nivel y de temperatura del lubricante.

### Sensor de temperatura de aceite

**El sensor de temperatura de aceite es una resistencia variable en función de la temperatura, llamada NTC (coeficiente de temperatura negativo), a mayor temperatura menor resistencia tiene dicha sonda.**

Las señales de kilómetros recorridos, consumo de combustible, régimen del motor y carga del motor se obtienen a través de la red CAN de otras centralitas que ponen la información en la red como la del cuadro de a bordo y la de motor.

## 5 >> Averías en los circuitos de lubricación

Las operaciones más frecuentes en un circuito de lubricación son las de mantenimiento: sustitución del aceite y de su filtro. Estas operaciones de mantenimiento se realizan periódicamente en función del kilometraje en los vehículos o en función de las horas de funcionamiento en maquinaria pesada. Cuando las operaciones de mantenimiento no se realizan adecuadamente pueden surgir averías.

Las averías más frecuentes en el circuito de lubricación son:

– **Fugas de lubricante al exterior.** Pueden ser debidas a falta de estanqueidad en el circuito a través de alguna junta, racor, retén, etc., o bien a una sobrepresión en el circuito de aireación del cárter.
– **Fugas de aceite a otros circuitos o sitios no visibles:**
  - **Al circuito de refrigeración.** Esto se puede producir a través de la junta de culata o del intercambiador aceite/agua.
  - **A la cámara de combustión.** El aceite se quema produciendo la disminución del volumen de aceite y humo contaminante en el escape. Esto sucede por problemas con la junta de culata, desgaste en segmentos y cilindros, retenes de válvula deteriorados, etc. A este tipo de fuga se le llama consumo de aceite.
– **Contaminación del lubricante:**
  - Con entrada de refrigerante por la junta de la culata a través del intercambiador aceite/agua o de las camisas húmedas si las lleva.
  - Con excesiva condensación de los vapores del cárter.
– **Baja presión de aceite.** Puede producir daños en el cigüeñal, en las muñequillas de bancada y en las bielas y sus casquillos. También en las partes altas del motor, como árbol de levas, balancines, taqués, etc. Las causas pueden ser:
  - Una viscosidad inadecuada en el lubricante, generalmente por ser demasiado fluido.
  - Falta de aceite en el cárter que permite que entre aire y baje rápidamente la presión.
  - Problemas en la bomba de engrase como toma de aire en el tubo de succión, problemas en la válvula limitadora de presión, que se queda abierta, tiene un tarado inadecuado o el muelle cedido; desgastes internos en la bomba que producen mayores fugas, etc.
  - Filtro parcialmente obstruido. Se soluciona con una válvula interna que puentea el filtro cuando está obstruido y deja pasar aceite a presión pero sin filtrar.
  - Fugas internas en el motor debido a desgastes en muñequillas y casquillos de bancada y biela. Las obstrucciones en el circuito producen disminución de la presión después de estas.
– **Alta presión de aceite.** La válvula limitadora de presión cierra o abre con dificultad. Las obstrucciones producen sobrepresiones a revoluciones bajas pero nunca mayores que la de tarado de la válvula limitadora de presión si esta está bien.

### Precaución al intervenir en el circuito de lubricación

Siempre que se haga una intervención en el motor en la que se haya manipulado el circuito de lubricación habrá que poner especial atención para evitar las fugas. Para ello se deben usar siempre juntas nuevas, echar cordones de silicona sin interrupciones, etc.

Práctica 18

Práctica 19

### Investigación de averías

Los pasos a seguir para investigar averías en el circuito de lubricación son: hacer inspecciones visuales, medir la presión del circuito de engrase, desmontar y verificar.

## Actividades finales

1·· ¿Cuál es la composición de un lubricante?

2·· ¿Qué tres tipos de lubricación existen?

3·· ¿Qué indica el *donut* en una lata de aceite?

4·· ¿De qué depende la viscosidad de un lubricante?

5·· Enumera las tres especificaciones de calidad de lubricante más importantes.

6·· ¿Qué tipo de lubricación lleva un motor de dos tiempos?

7·· ¿A qué puede ser debida una baja presión de aceite?

8·· ¿Cuándo se emplean lubricaciones por cárter seco?

9·· ¿Qué es la cavitación?

10·· ¿Por qué se han implantado los aceites multigrado frente a los monogrado?

11·· ¿En qué se diferencia un aceite sintético de un semisintético?

12·· ¿Qué indica el índice de viscosidad?

13·· ¿Por qué se usan más las bombas de rotor que las de engranajes?

14·· Enumera los motivos por los que se puede contaminar un lubricante.

15·· ¿Por qué hay aceites especiales para motores que cumplen la normativa anticontaminación Euro 4?

16·· Diferencia entre viscosidad y densidad de un lubricante.

17·· ¿Cómo se consigue reducir el consumo de combustible a través del lubricante?

18·· ¿Cómo se consiguen prolongar los intervalos de mantenimiento en el circuito de lubricación de un motor?

19·· ¿Qué ventajas tiene un filtrado en serie respecto a uno en paralelo?

20·· ¿Qué elemento se encarga de que no suba demasiado la presión del lubricante en el circuito de lubricación?

## Caso final

### Investigación de un consumo de aceite

•• Entra un vehículo en el taller por problemas de consumo de aceite. Es un vehículo con motor de gasolina, atmosférico, con 126 000 km.

a) ¿Qué proceso debes seguir para investigar ese consumo excesivo de aceite?
b) ¿Qué debes hacer para corregirlo?

### Solución ••

Para resolver este caso práctico puedes proceder del siguiente modo:

1. Verifica si existen fugas de aceite visibles. Para ello sube el vehículo al elevador e inspecciónalo.

2. Asegúrate que no hay aceite en el circuito de refrigeración ni refrigerante en el circuito de engrase. Abre el tapón de la tapa de balancines y cerciórate de que el aceite está limpio. Abre el circuito de refrigeración, donde tampoco deberías ver síntomas de paso de aceite.

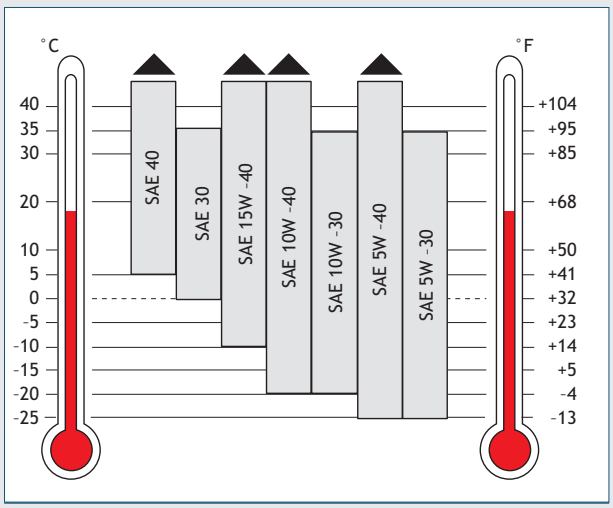
3. Verifica que el nivel y calidad de aceite son los adecuados. Para ello se procede a la sustitución del aceite por uno de viscosidad adecuada según fabricante a temperatura ambiente. En este caso se elije un SAE 10W40 según la tabla y se deja al nivel correcto (figura 14.33).

4. Comprueba que el consumo de aceite es real, midiendo o pesando el que has echado y haciéndolo circular. Al vaciar el cárter de nuevo vuelve a pesar o medir el aceite. La diferencia será el consumo en los kilómetros recorridos, así se puede calcular el consumo de aceite en 1 000 km que suele ser lo habitual.

Por ejemplo, si se echan 4,8 l y después de rodar 250 km el volumen de aceite que se extrae es de 4,6 l. El consumo es de 0,2 l por cada 250 km. Por lo que:

$$\text{Consumo a los 1 000 km} = \frac{1\,000 \cdot 0{,}2}{250} = 0{,}8 \text{ l}$$

Estamos ante un consumo más que importante que puede llegar a deteriorar el catalizador.




**14.33.** Elección de la viscosidad adecuada según tabla del fabricante.

**14.34.** Verificación del consumo de aceite a través de los gases de escape.

Otra forma sería calentar el motor y medir los gases de escape (figura 14.34), si el consumo es real se verá un aumento de hidrocarburos que además contaminará la sonda lambda y destruirá el catalizador. Una vez que hemos comprobado que están bien los gases excepto por un exceso de HC de 289 y un $O_2$ ligerísimamente alto que indican que se está consumiendo aceite en el motor. Cuando el motor está a ralentí bastante tiempo se ve humo azulado, con olor a aceite quemado, que corrobora el diagnóstico.

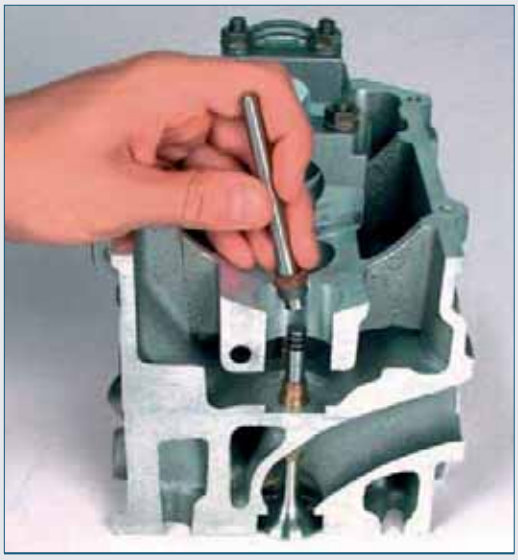
5. Mide la compresión (figura 14.35). Deberían resultar unos valores de presión dentro de las tolerancias según el manual del fabricante, no solo por el valor, sino por el equilibrio entre cilindros. Una vez hecho esto, se ve que el motor está bien de compresión.

**14.35.** Medida de la compresión del motor.

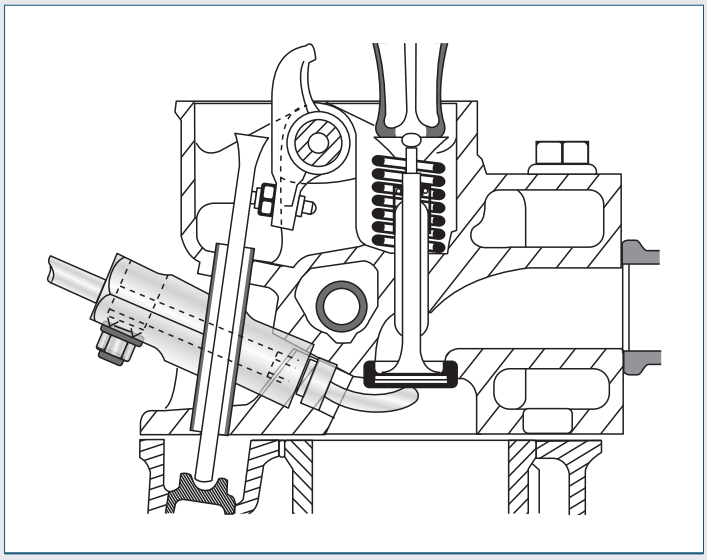
## Conclusión ··

Si el motor realmente tiene un consumo elevado de aceite y no hay fugas visibles, ni internas en algún cilindro o al circuito de refrigeración y el motor está bien de compresión, como es este caso, el problema proviene de defectos de estanqueidad en los retenes de las válvulas.

Para corregir este problema debes proceder a desmontar la culata y sustituir los retenes (figura 14.36). Hay motores en los que el fabricante da la opción a realizar esta sustitución sin tener que desmontar la culata, introduciendo por el orificio de la bujía un útil que sujeta la válvula (figura 14.37) y así se puede desmontar las chavetas, cazoleta y muelles sin tener que levantar la culata.

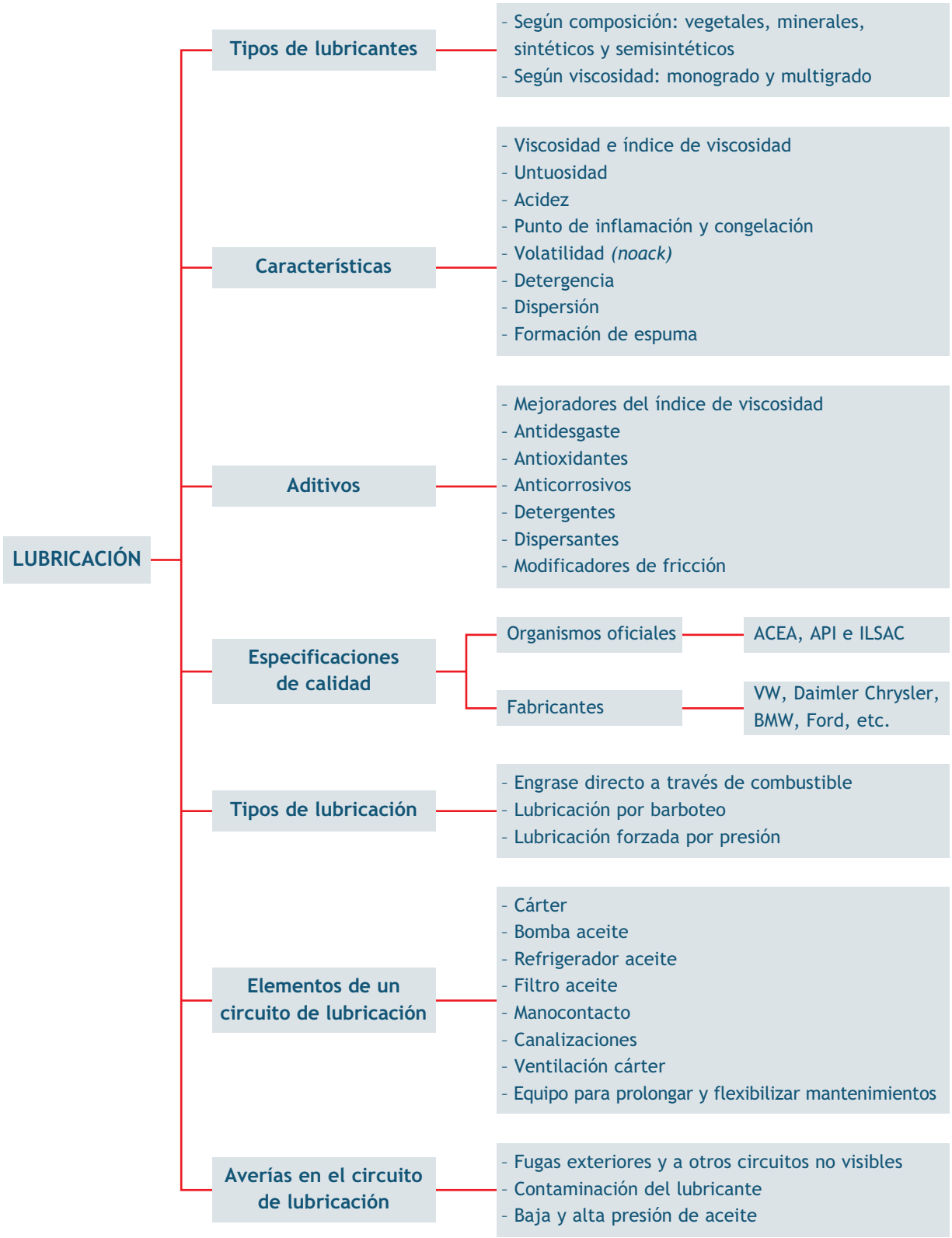


**14.36.** Montaje de retén de válvula con el útil adecuado.



**14.37.** Desmontaje de un retén sin levantar la culata.

## Ideas clave


LUBRICACIÓN
Tipos de lubricantes
- Según composición: vegetales, minerales, sintéticos y semisintéticos
- Según viscosidad: monogrado y multigrado
Características
- Viscosidad e índice de viscosidad
- Untuosidad
- Acidez
- Punto de inflamación y congelación
- Volatilidad (noack)
- Detergencia
- Dispersión
- Formación de espuma
Aditivos
- Mejoradores del índice de viscosidad
- Antidesgaste
- Antioxidantes
- Anticorrosivos
- Detergentes
- Dispersantes
- Modificadores de fricción
Especificaciones de calidad
Organismos oficiales
ACEA, API e ILSAC
Fabricantes
VW, Daimler Chrysler, BMW, Ford, etc.
Tipos de lubricación
- Engrase directo a través de combustible
- Lubricación por barboteo
- Lubricación forzada por presión
Elementos de un circuito de lubricación
- Cárter
- Bomba aceite
- Refrigerador aceite
- Filtro aceite
- Manocontacto
- Canalizaciones
- Ventilación cárter
- Equipo para prolongar y flexibilizar mantenimientos
Averías en el circuito de lubricación
- Fugas exteriores y a otros circuitos no visibles
- Contaminación del lubricante
- Baja y alta presión de aceite

# ANÁLISIS DE LUBRICANTES USADOS

En flotas de vehículos, e incluso en vehículos industriales, se procede a analizar el aceite usado una vez que se cambia.

Esto se hace para prevenir averías, encontrar contaminantes y detectar si se puede alargar el intervalo de mantenimiento o se debe acortar. Todo esto lleva a alargar la vida de los motores, recortar gastos en averías e incluso en mantenimientos, haciéndolos en el momento más adecuado: ni antes perdiendo dinero, ni más tarde produciendo desgastes y acortando la vida del motor.

El análisis consiste en pruebas físicas y análisis químicos encaminados a encontrar contaminantes como agua, suciedad, combustibles, metales o ver la viscosidad, además de conocer las reservas alcalinas que le queda al lubricante. Veamos cada uno de ellos:

- Lo peor que se puede encontrar son restos de refrigerante/anticongelante, no por la avería que ya existe, sino por las que puede llegar a producir, ya que el refrigerante hace más fluido el lubricante y además ataca el material de los cojinetes de fricción del cigüeñal, erosionándolos y desgastándolos rápidamente. El agua del refrigerante, si sube mucho la temperatura del aceite, se evapora, pero quedan restos de los aditivos.
- Es muy nocivo también la acumulación de suciedad, sobre todo el sílice procedente del polvo, por ser un fuerte abrasivo que desgasta rápidamente el motor. Este puede entrar por un filtro de aire roto o demasiado sucio, por la mala colocación del filtro de aire, roturas en tuberías que se encuentran a continuación del filtro de aire, etc.
- También se pueden encontrar restos de combustible que emplea el motor, siendo el peor con diferencia la gasolina, debido a su nula lubricidad y a que descompone el lubricante rapidísimamente. El origen puede ser un motor ya gastado, mezclas excesivamente ricas, sobre todo en frío, problemas en la inyección como un inyector que se queda abierto, etc. El gasoil es más lubricante que la gasolina, pero también descompone el lubricante y, además, contiene azufre, que reacciona químicamente con él y produce ácidos altamente corrosivos para el motor.
- Se pueden encontrar restos de metales que indican desgastes internos del motor, excepto si el motor se está rodando por ser nuevo o haber sido reparado recientemente. En función de los metales encontrados podremos saber si el desgaste es del cilindro, de los segmentos, casquillos, etc.
- La viscosidad que tiene el aceite usado indica su estado en el momento de extraerlo del motor, así si tiene aún buena viscosidad podría haber durado más tiempo en el motor y si ha perdido gran parte de su viscosidad indica que debería haberse hecho antes el cambio de lubricante, o bien que el lubricante usado no tiene la calidad adecuada.
- Las reservas alcalinas del lubricante indican la capacidad que tiene de contrarrestar la acidez de los combustibles, sobre todo el gasoil, para que la anulen y eviten la corrosión del motor.

Si deseamos que los resultados del análisis sean lo más fiables posibles, es importante conocer qué aceite se ha usado para conocer sus aditivos, pues hay veces que aceites y refrigerantes llevan aditivos comunes, como el boro, y pueden dar lugar a confusiones. También es muy importante que el laboratorio conozca el kilometraje o las horas de funcionamiento que ha aguantado ese aceite y en qué motor se ha usado, pues los motores tienen distintas características unos de otros.

Es importante hacer estos ensayos cuando el motor funciona bien para tener un histórico del mismo motor, pues ahí tenemos una referencia fiable de cómo funciona correctamente ese motor y veremos rápidamente cuándo empieza a fallar, por comparación con las tendencias anteriores.

Para la buena conservación del motor no conviene mezclar lubricantes de distintas viscosidades y para el análisis tampoco conviene que sean de distinta marca aunque sean de la misma viscosidad, porque llevan paquetes de aditivos distintos que pueden conducir a errores en los análisis.

Finalmente, para realizar el análisis se puede hacer aprovechando los cambios de aceite, aunque también se puede tomar una muestra adicional entre cambios de aceite para asegurarnos que todo está correcto. En cualquier caso, la muestra se debe tomar con el motor caliente y recién parado, para evitar el decantado que se produce por la gravedad a medida que se va enfriando y esté todo el aceite con sus contaminantes bien mezclados.

unidad 15

# Sistemas de refrigeración

## SUMARIO

- Sistemas de refrigeración y su funcionamiento
- Elementos del sistema de refrigeración por líquido presurizado
- Líquidos refrigerantes
- Averías

## OBJETIVOS

- Estudiar la misión del circuito de refrigeración en el motor.
- Valorar la importancia que tiene para el buen funcionamiento del motor el circuito de refrigeración.
- Clasificar los sistemas de refrigeración empleados en el motor.
- Conocer el funcionamiento y las averías de los elementos que integran el circuito de refrigeración.
- Analizar las averías del motor derivadas del funcionamiento incorrecto del circuito de refrigeración.

# 1 >> Objetivo de la refrigeración

**El objetivo del sistema de refrigeración es mantener una temperatura óptima durante el funcionamiento del motor.**

Las temperaturas que se alcanzan en el interior del cilindro y en la cámara de combustión en el tiempo de la explosión son muy elevadas, pueden variar de 2 000 a 2 500 °C. En los tiempos de expansión y escape de los gases quemados y durante la entrada de nuevos gases frescos en el cilindro, se elimina parte del calor, aun así la temperatura es excesiva.

Para un buen funcionamiento del motor es imprescindible disipar parte del calor liberándolo a la atmósfera. En caso de que la refrigeración no funcione correctamente, puede ocurrir que:

– El aceite se degrade y se vuelva excesivamente fluido. Esto último ocurre a partir de los 300 °C.
– Se destruya la capa de lubricante en las paredes del cilindro, provocando que los segmentos y el pistón rocen con la camisa del cilindro.
– Los pistones, las válvulas, la culata y demás elementos se calienten excesivamente por el rozamiento, perdiendo las propiedades mecánicas.
– El metal se dilate, y las piezas en movimiento se agarroten ocasionando el gripaje completo del motor.
– Al estar la cámara al rojo se produzcan autoencendido y detonaciones.

Los sistemas de refrigeración han de extraer del 25 al 30% del calor generado en la combustión para mantener el motor entre los 90 y 95 °C, y de esta manera obtener el máximo rendimiento sin ocasionarle daños. De la energía aportada por el combustible en el tiempo de explosión solamente se puede aprovechar alrededor de un 30% para el movimiento del vehículo.

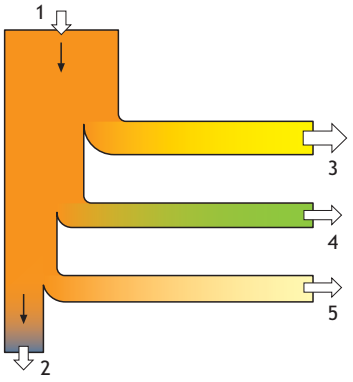
La solución para disipar esa temperatura consiste en rodear todas las zonas expuestas a altas temperaturas de un fluido refrigerante capaz de evacuar y ceder el calor al aire.

El calor de los órganos internos es disipado por conducción desde las zonas más calientes a las más frías gracias a este fluido.

## 1.1 > Límite de temperatura en los elementos del motor

Los límites de temperatura de los órganos internos del motor que se encuentran en contacto con los gases de la explosión son:

– **Paredes del cilindro:** de 150 a 200 °C. Si la temperatura de las paredes del cilindro supera este intervalo, el aceite lubricante pierde propiedades provocando desgastes anormales, formando depósitos carbonosos, agarrotamientos, destrucción de los segmentos, etc.
– **Pistón:** de 300 a 350 °C. Su parte superior soporta temperaturas muy altas y reduce su resistencia mecánica por encima de estas temperaturas.
– **Válvula de escape:** de 700 a 750 °C. Si se sobrepasa esta temperatura se reduce su resistencia mecánica a la corrosión. Para refrigerar estas válvulas se pueden rellenar de sodio (figura 15.2).
– **Paredes de la cámara de combustión de la culata:** de 250 a 300 °C. Esta temperatura asegura el correcto funcionamiento del ciclo térmico del motor.




1 Energía aportada por el combustible: 100%

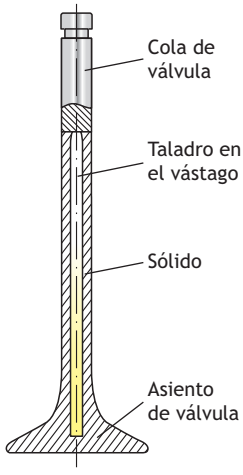
2 Energía transformada en movimiento del vehículo: 30%

3 Calor perdido en los gases de escape: 30%

4 Calor evacuado por la refrigeración: 25%

5 Calor perdido por irradiación y energía empleada en mover accesorios: 5%.

**15.1.** Diagrama de Sankey sobre la distribución de la energía aportada por el combustible.




**15.2.** Válvula hueca rellena de sodio para facilitar la refrigeración.

**Motor adiabático**

Es un motor teórico en el que no hay pérdidas de calor. Toda la energía es transformada por la combustión y aprovechada para realizar el trabajo en el motor.

Esto puede suceder en motores fabricados con materiales cerámicos. Hasta el momento solo se han realizado algunos ensayos.

## 1.2 > Calor que debemos evacuar del motor

El circuito de refrigeración debe evacuar el calor perjudicial, pero no en exceso, ya que un enfriamiento excesivo bajaría el rendimiento del motor y provocaría un aumento en la viscosidad del lubricante, aumentando el rozamiento y, por tanto, el desgaste.

La cantidad de calor que los gases de la explosión transmiten a las paredes que lo rodean se puede calcular con la siguiente expresión:

$$q = k \cdot S \cdot \Delta T$$

Siendo:

q: potencia calorífica en kcal/h
$\Delta T$: diferencia de temperaturas entre el gas y las paredes
k: coeficiente de transmisión en kcal/$m^2 \cdot °C$
S: superficie de la pared en $m^2$

## Casos prácticos

### Cálculo del calor generado en un ciclo y calor que se debe evacuar

•• En un motor de 2 000 $cm^3$ se debe evacuar el 25% del calor correspondiente al ciclo teórico por el circuito de refrigeración, sabiendo que la relación estequiométrica de aire/gasolina que entra en el cilindro en el tiempo de admisión es 14,7/1 (por cada 14,7 gramos de aire pasa 1 gramo de gasolina), la densidad del aire es 1,293 g/l y el poder calorífico del combustible 10 500 cal/g.

Calcula el calor generado y el liberado a lo largo de un ciclo.

**Solución** •• El peso del aire aspirado en un ciclo según la cilindrada es:

$$P = V_t \cdot d_{aire} = 2\ l \cdot 1{,}293\ g/l = 2{,}586\ g/ciclo$$

El peso de la gasolina en un ciclo correspondiente a la cilindrada es:

$$\text{Peso del aire} / \text{Relación estequimétrica} = 2{,}586 / 14{,}7 = 0{,}175\ g/ciclo$$

El calor generado en un ciclo Q es:

$$Q = \text{Peso de la gasolina} \cdot \text{Poder calorífico} = 0{,}175\ g/ciclo \cdot 10\,500\ cal/g = 1\,837{,}5\ cal/ciclo$$

El calor que se va a evacuar en un ciclo por el sistema de refrigeración es:

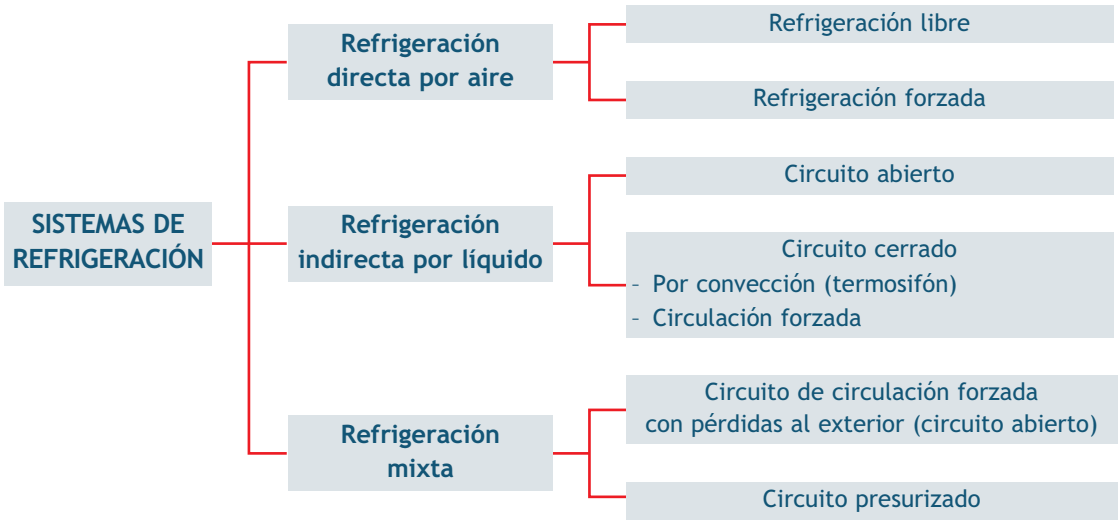
$$Q \cdot 25\% = 1\,837{,}5 \cdot 0{,}25 = 459{,}375\ cal/ciclo$$

## Actividades propuestas

1•• Aplicando los datos del caso práctico anterior, calcula el calor que debe evacuar el circuito de refrigeración en un motor de 2 200 $cm^3$ en el que se debe liberar el 30% del calor correspondiente al ciclo teórico por dicho circuito.

## 2 >> Clasificación de los sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración utilizados en los motores pueden clasificarse según el fluido que se utiliza y el diseño del propio circuito en:




### 2.1 > Refrigeración directa por aire

**En la refrigeración directa por aire una corriente de aire atraviesa el motor cediendo el calor directamente a la atmósfera.**

Un esquema básico para la refrigeración directa por aire es el siguiente:

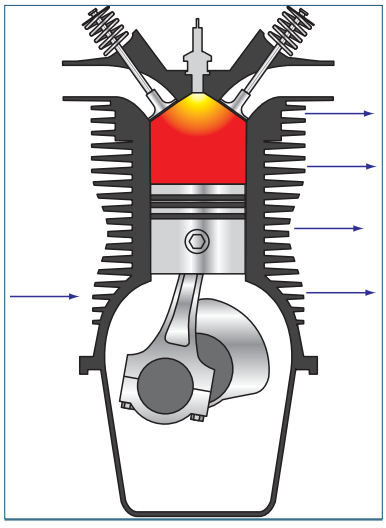
#### Refrigeración libre por aire

**En la refrigeración libre la corriente de aire incide directamente y de forma natural en el motor, gracias al desplazamiento del vehículo. Es la refrigeración de los ciclomotores y algunas motocicletas (figura 15.3).**

#### Refrigeración forzada por aire

**Un potente ventilador movido por el propio motor genera una corriente de aire que debe canalizarse hacia los cilindros (figura 15.4). El aire es utilizado a su vez para enfriar un radiador por el cual circula el aceite lubricante, y a su vez, este fluido también enfría al motor.**

La refrigeración forzada por aire se realiza rodeando una serie de aletas de un metal ligero, que sea buen conductor del calor, a los cilindros y a la culata de los motores, aumentando la superficie de contacto con el aire. El calor es disipado por convección forzada y radiación debido a las temperaturas alcanzadas en estas zonas.



**15.3.** Refrigeración por aire libre.

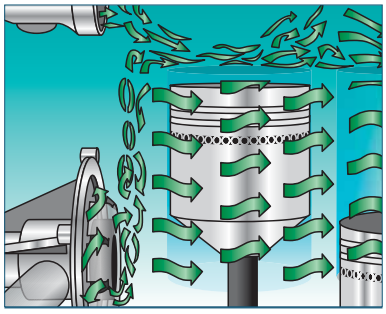
15.4. Motor refrigerado por circulación forzada de aire.

### Ventajas de la refrigeración por aire

– Su fabricación es más sencilla porque no incorpora conducciones internas para el líquido, y tampoco necesita bomba de movimiento del refrigerante, ni radiador, ni ventilador en algunos casos, etc. En definitiva, desaparecen los sistemas auxiliares asociados a la refrigeración por líquido.
– El motor refrigerado por aire es menos pesado, ganando en potencia específica.
– Menor número de averías asociadas a la refrigeración. En motores refrigerados por agua, las averías generadas por este sistema alcanzan del orden del 20% de las totales producidas en el motor.
– Se alcanza más rápidamente la temperatura de trabajo.

### Inconvenientes de la refrigeración por aire

– Las temperaturas alcanzadas en el motor refrigerado por aire son más altas y, por tanto, los materiales de construcción deben ser de mayor calidad, lo que aumenta el coste de producción.
– Mayores juegos en frío debido a las altas dilataciones provocadas por las diferencias de temperaturas existentes entre el trabajo en frío y en caliente, lo que a su vez provoca más ruido. Este efecto se reduce en la refrigeración por líquido, ya que este actúa de aislante acústico.
– Limitado a cilindros pequeños, en general, cilindros menores de 150 mm de diámetro.
– Aumenta el volumen del motor.
– Problemas con la suciedad acumulada en aletas que puede provocar inconvenientes en el sistema de refrigeración.
– Aumento de $NO_X$ y de autoencendido, debido a las altas temperaturas.



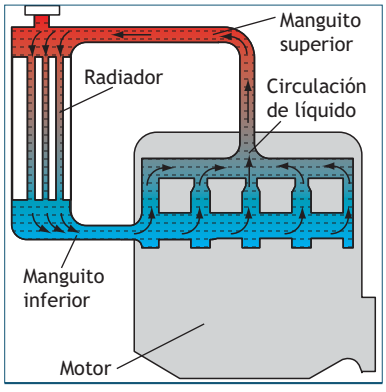
15.5. Circulación interna del líquido refrigerante.

## 2.2 › Refrigeración indirecta por líquido

**En la refrigeración indirecta, una corriente de líquido circula por unas conducciones construidas en el interior del bloque alrededor de los cilindros.**

### Circuito cerrado por convección: por termosifón

**La refrigeración indirecta por líquido en circuito cerrado por convección o por temosifón (figura 15.6) basa su funcionamiento en la diferencia de densidades existente en un líquido dependiendo de su temperatura. Cuando se calienta el líquido contenido en el bloque alrededor de la parte inferior de los cilindros, el calor llega a la parte superior de los mismos por medio de corrientes ascendentes, posteriormente estas corrientes pasan a un radiador donde son enfriadas y provocan otra corriente descendente del líquido frío.**



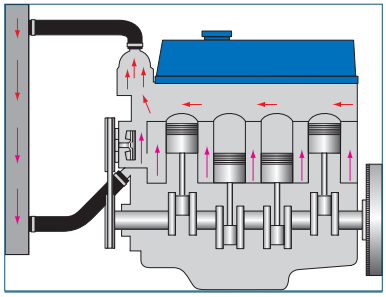

15.6. Circuito de refrigeración por termosifón.

No se utiliza en la actualidad, al requerirse un radiador de grandes dimensiones y conductos y camisas de medidas amplias y sin estrechamientos para favorecer la circulación del líquido.

### Circuito cerrado con circulación forzada de líquido

**En el sistema de circulación forzada, una bomba obliga al líquido a circular desde los conductos del motor al radiador. La bomba gira sobre un eje que mueve una polea accionada por el cigüeñal mediante una correa.**

La bomba se encuentra en el conducto de entrada al motor procedente del radiador. El radiador no necesita ser tan grande y sus conductos ya son más regulares, pues la bomba provoca la circulación.

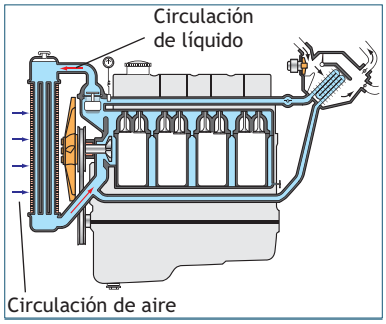


**15.7.** Circuito de refrigeración con circulación forzada de líquido.

## 2.3 > Refrigeración mixta

**La refrigeración mixta aprovecha las ventajas del sistema de circulación forzado por bomba, con la diferencia de que incorpora un ventilador para ayudar a la refrigeración del líquido en el radiador a bajos regímenes o con el vehículo detenido. También incorpora un termostato para regular la temperatura del motor, y alcanzar con rapidez la temperatura de funcionamiento.**

En el conducto que comunica la salida del líquido del motor hacia el radiador se intercala el termostato (figura 15.8). El ventilador está en el eje de la bomba que mueve el cigüeñal mediante una polea (motores antiguos o de gran cilindrada) o un electroventilador en los motores actuales y de menor cilindrada.




**15.8.** Esquema de la refrigeración mixta.

### Refrigeración mixta con pérdidas al exterior

Este circuito se comunica a través de la válvula del tapón del radiador con el exterior, produciéndose la salida del vapor del líquido e introduciéndose aire en el radiador al enfriarse el líquido. También es conocida como **refrigeración mixta de circuito abierto.**

Su principal inconveniente es que con la evaporación y la evacuación se pierde líquido en el circuito, con la consiguiente necesidad de reponer el nivel adecuado con frecuencia.

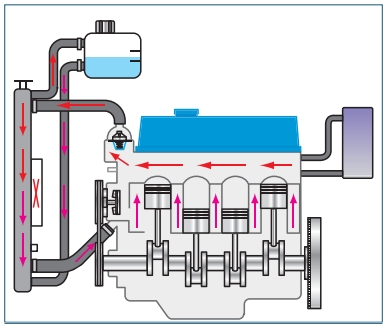
**15.9.** Refrigeración mixta con tubería de evacuación.

### Refrigeración mixta de circuito presurizado

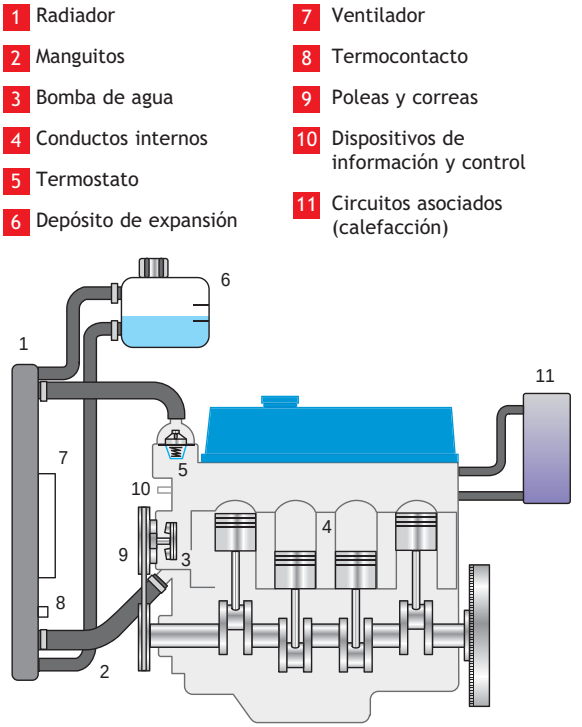
El circuito presurizado de refrigeración mixta es el utilizado en la actualidad en todos los vehículos.

Sus ventajas sobre la refrigeración anterior son las siguientes:

– El vapor del líquido no se pierde, evitando tener que rellenar el radiador. Cuando el líquido se calienta en exceso, el vapor es recogido en un depósito de expansión, que comunica con el exterior mediante una válvula de seguridad; y cuando el líquido se enfría por diferencia de presión, vuelve al radiador o al mismo circuito, con lo que se restablece automáticamente el nivel.
– Al estar presurizado el sistema de 100 a 150 kPa, el punto de ebullición del líquido aumenta, disminuyendo la tendencia a la ebullición hasta los 115 ó 130 °C. De esta manera se puede trabajar con temperaturas más altas del líquido refrigerante, mejorando el rendimiento del motor.



**15.10.** Refrigeración mixta de circuito presurizado.




**15.11.** Elementos del circuito de refrigeración.

## 3 >> Elementos del sistema de refrigeración presurizado

El sistema de refrigeración mixta es el empleado en la actualidad, limitándose el uso generalmente a la refrigeración mixta de circuito presurizado. Este circuito está formado por los elementos mostrados en la figura 15.11.

### Funcionamiento del circuito

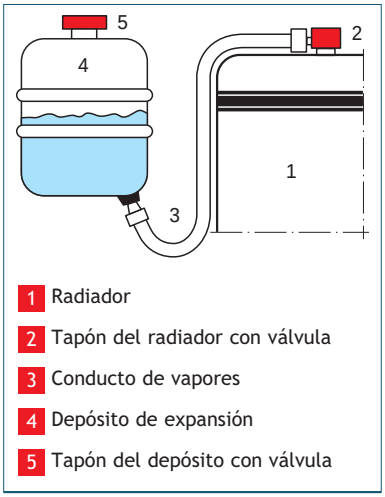
Una bomba movida por el propio motor del vehículo, a través de una correa succiona el líquido refrigerante del radiador que hace de depósito. Este líquido refrigerante es compensado con el líquido de reserva existente en el vaso de expansión y obligado a circular por todo el circuito interno del motor, regresando al radiador para ceder a la atmósfera el exceso de calor que le ha transmitido el motor.

El motor debe funcionar siempre a una temperatura óptima, por ello el líquido no debe pasar al radiador hasta alcanzar una determinada temperatura. La regulación de la temperatura del motor y del caudal de líquido refrigerante la realiza el termostato.

El líquido refrigerante en el radiador es enfriado por el aire recibido por la propia marcha del vehículo, o por un ventilador cuando el vehículo no está en movimiento. Cuando el líquido alcanza una elevada temperatura, la puesta en marcha del ventilador se realiza generalmente a través de un termocontacto u otros sistemas que se explicarán a continuación. En los motores actuales es la centralita de gestión del motor la que da la señal de conexión del electroventilador.

Para informar al conductor del funcionamiento del circuito de refrigeración se disponen diferentes elementos:

– Captadores de temperatura.
– Captadores de nivel.
– Avisadores luminosos.
– Relojes.




**15.12.** Disposición del depósito de expansión.

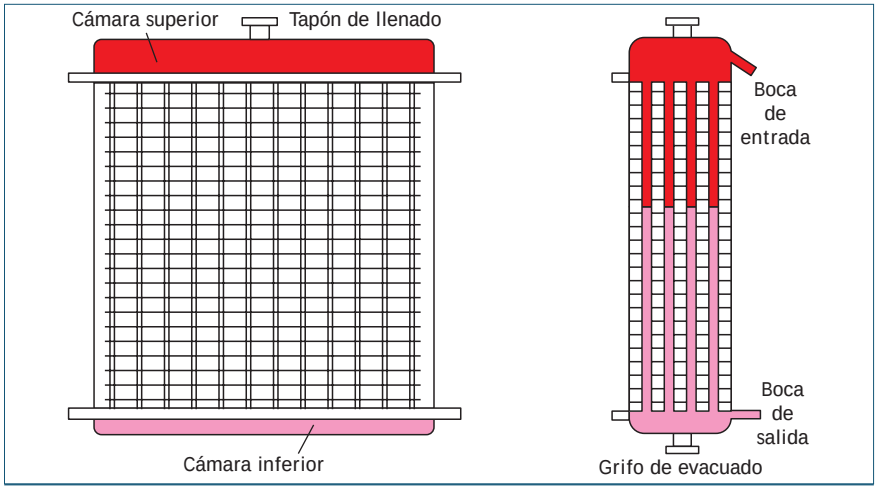
### 3.1 > El radiador

**El radiador es el elemento del circuito de refrigeración que actúa como intercambiador de calor entre el líquido refrigerante y el aire de la atmósfera.**

Por su parte inferior, el radiador está unido al bloque motor, por medio de unos manguitos de goma que se conectan a la bomba. Por su parte superior, el radiador se une por medio de los manguitos a la culata con interposición del termostato.

El radiador se encuentra situado en la parte delantera del motor para facilitar la incidencia del aire que proviene del exterior cuando el vehículo está en marcha, o para dirigir el aire hacia el motor gracias al ventilador.

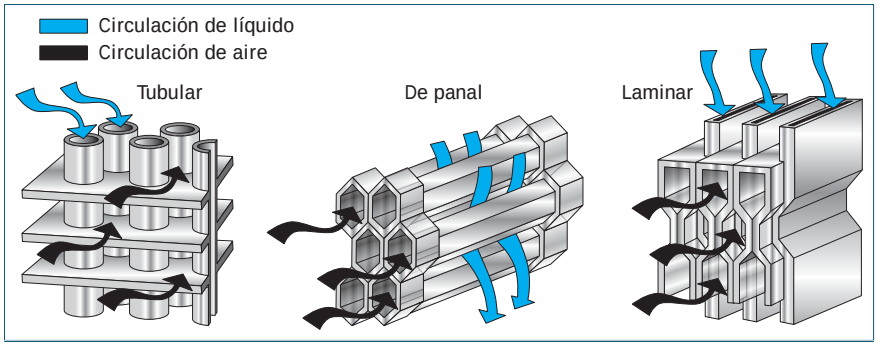
El radiador consta de dos cámaras, una superior y otra inferior, en las que se acoplan los manguitos de entrada y salida del líquido (figura 15.14). En la cámara superior existe una boca de llenado, cerrada con un tapón de seguridad.




**15.14.** Constitución del radiador.

Las dos cámaras se encuentran unidas a través de una serie de tuberías de sección fina, por donde circula el líquido refrigerante en cuestión. Rodeando estas tuberías se disponen numerosas aletas de espesores muy finos. El diseño de las tuberías puede ser:

– Tubular. Es el más utilizado.
– De panal. En desuso.
– Laminar.

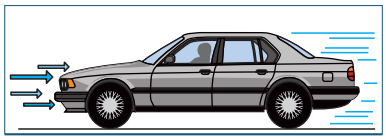



**15.16.** Tipos de conducciones en el radiador.

### Fabricación del radiador

Los materiales utilizados en la fabricación del radiador deben ser buenos conductores del calor y resistentes a la corrosión, como el latón, el cobre, etc. En la actualidad, el material más utilizado es el aluminio.

Las cámaras laterales pueden ser de materiales plásticos resistentes al ataque de productos químicos, a la temperatura y a los impactos, como la poliamida (PA) o el polipropileno (PP).

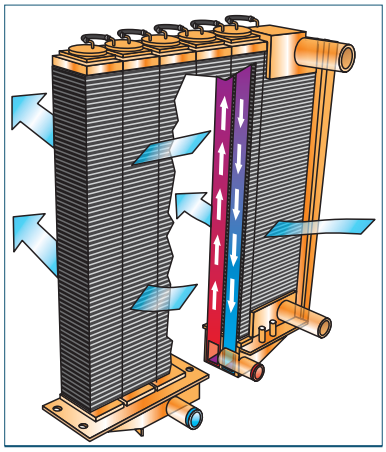


**15.13.** Corriente de aire que refrigera el motor con el vehículo en marcha.

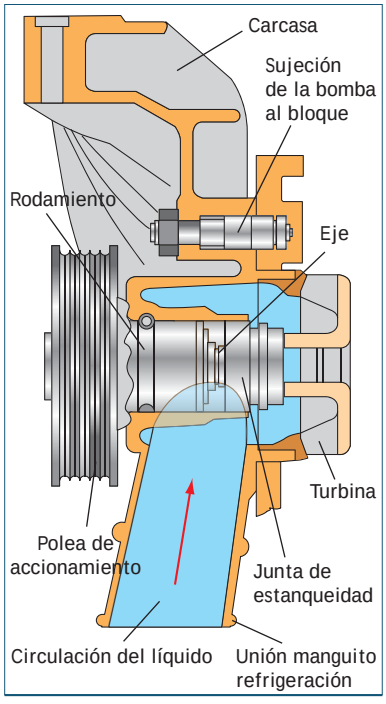
**15.15.** Disposición del radiador frente al motor.

### Precaución al añadir anticongelante

En vehículos con radiadores fabricados de aluminio, es necesario añadir anticongelantes especiales.



**15.17.** Radiador de doble flujo *(case)*.




**15.18.** Sección de una bomba de refrigeración. Fuente: SEAT.

La circulación del líquido en el interior del radiador puede ser:

– Descendente o de flujo vertical.
– Ascendente y descendente, o de doble flujo (figura 15.17).
– Lateral o de flujo transversal.

La diferencia de temperatura del líquido de entrada y salida del radiador no debe ser superior a los 7 °C para evitar grandes diferencias de temperatura entre el líquido del radiador y el del motor.

## 3.2 > Los manguitos

**Los manguitos son los tubos que unen el radiador con el motor, y se encuentran sujetos a ambos mediante abrazaderas. Están fabricados de goma flexible, con refuerzos de fibras resistentes a la temperatura y a las vibraciones del motor.**

## 3.3 > La bomba

**La bomba fuerza la circulación del líquido refrigerante para garantizar la evacuación del calor del interior del motor al radiador mediante conducción.**

Cuanto más revolucionado gira el motor, mayor es la temperatura alcanzada en el mismo. Al girar la bomba, arrastrada por el motor, imprime mayor velocidad de circulación al líquido, por lo tanto será mayor la evacuación de calor. Existe una adaptación automática del sistema dependiendo de las necesidades de refrigeración del motor.

**15.19.** Ubicación bomba de refrigeración.

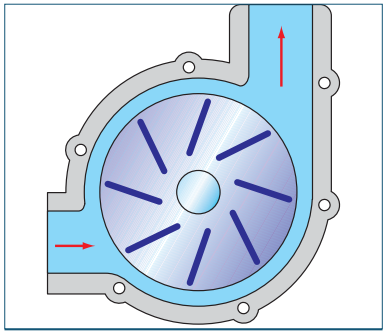
La bomba está formada por una carcasa fijada al bloque mediante tornillos, y en su interior gira una turbina accionada por un eje (figura 15.18) que está movido por el cigüeñal mediante una correa y una polea, que puede ser la de accesorios o la misma que mueve la distribución.

Esta bomba está montada en el circuito de refrigeración, a la entrada del bloque de cilindros (figura 15.19).

Las bombas utilizadas son de tipo centrífugo, fabricadas en fundición o aluminio. Están diseñadas para aportar el suficiente caudal de líquido en función de la potencia del motor y las calorías a evacuar, diferenciándose en forma y tamaño de unos motores a otros, sobre todo, de los de gasolina a los diésel (figura 15.20).

**15.20.** Bomba de refrigeración de motor de gasolina.

**15.21.** Bomba de refrigeración de motor diésel.



**15.22.** Esquema de funcionamiento de la bomba centrífuga.

## 3.4 › Los conductos internos

**El líquido refrigerante procedente del radiador es impulsado por la bomba hacia el interior del bloque a través del conducto de fijación de la bomba, que comunica con las galerías internas.**

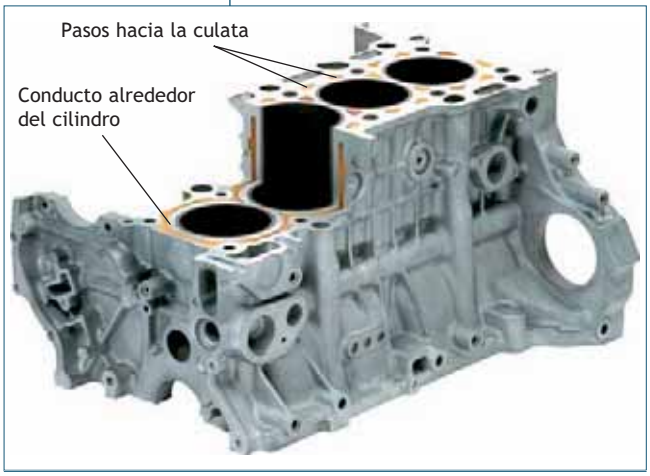
Los conductos están perfectamente diseñados y deben estar exentos de restos calcáreos para que pueda circular el líquido refrigerante perfectamente en el interior del motor, evitando los puntos calientes y zonas que formen bolsas de vapor, que dificultan la transmisión del calor y la circulación del líquido, causando, de esta manera, la corrosión. El circuito de refrigeración está divido en dos circuitos en serie, uno para refrigerar el bloque y el otro para refrigerar la culata, pasando el líquido desde el bloque a la culata (figura 15.23).

En algunos motores modernos, el circuito de refrigeración está dividido en dos circuitos paralelos: uno para la refrigeración del bloque y otro para la refrigeración de la culata, ambos regulados por un termostato independiente (figura 15.24).

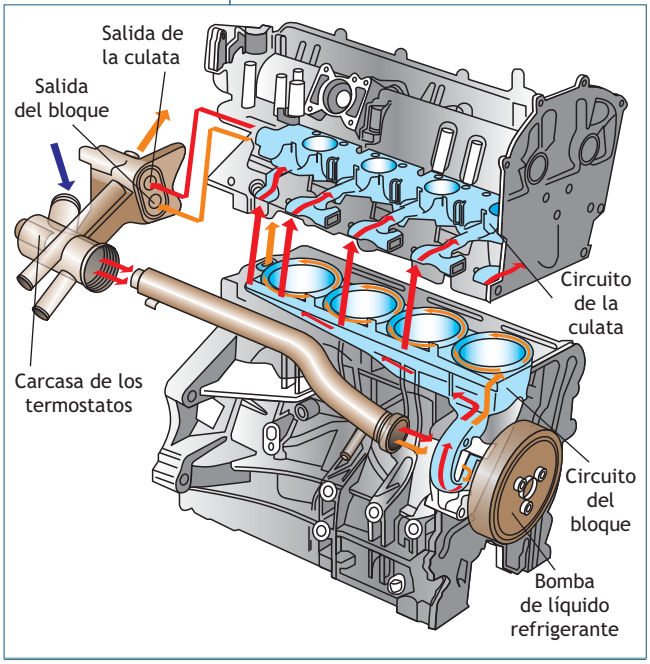
El termostato de la culata permite la salida del líquido refrigerante cuando este alcanza una temperatura inferior a la del líquido del bloque, aproximadamente a unos 87 °C.

El termostato del bloque permite el paso del líquido con temperaturas superiores a los 100 °C, aproximadamente a los 105 °C.

La principal ventaja de este sistema es que manteniendo una temperatura superior en el bloque, se reduce la fricción a la que están sometidos el cigüeñal y los cilindros. Mientras que una temperatura inferior en la culata, mejora el llenado de los cilindros y reduce la tendencia al picado.



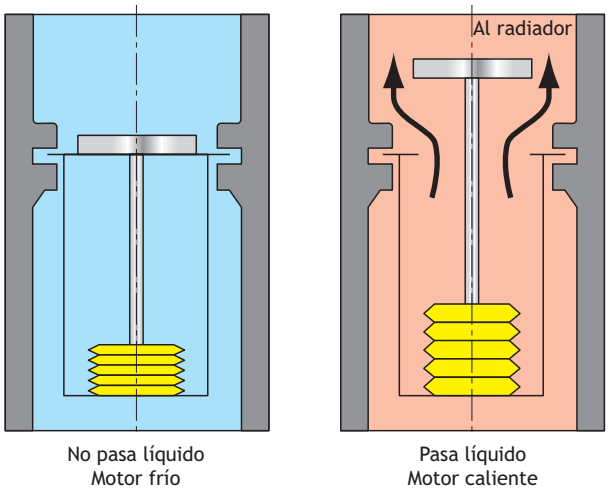

**15.23.** Conductos internos y de paso del líquido a la culata. Fuente: Honda.




**15.24.** Sistema de refrigeración de doble circuito. Fuente: SEAT.

## 3.5 > El termostato

Si el motor funciona en frío, la combustión no se realiza en buenas condiciones: los vapores derivados del combustible se condensan en el cilindro, pasando al cárter de aceite y diluyendo el aceite, complicando el engrase del motor, emitiendo además excesivos productos contaminantes a la atmósfera y provocando mayor consumo de combustible. Todo ello provoca bajo redimiendo del motor y un alto desgaste del mismo.




**15.25.** Principio de funcionamiento de un termostato de fuelle.

Por el contrario, si el motor trabaja con un exceso de calor, el líquido refrigerante puede llegar a hervir, anulando la evacuación de calor del motor y provocando serios daños al mismo. El aceite de engrase en el cilindro se quema eliminando la película protectora. La junta de culata resultará dañada. Se producen altas dilataciones que provocarán, entre otros daños, el gripado del motor o la curvatura de la culata.

**La temperatura del motor la regula el líquido de refrigeración, controlado por la válvula termostática o termostato.**

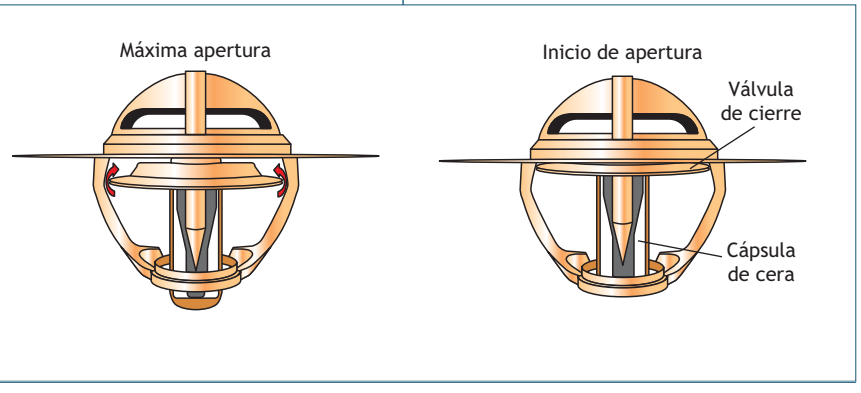
El termostato impide la salida del líquido refrigerante del motor hacia el radiador a una temperatura inferior a los 70 °C, enviándolo de nuevo hacia la bomba. Cuando el líquido alcanza una determinada temperatura, aproximadamente 85 °C, el termostato le permite el paso al radiador (figura 15.25).

**15.26.** Válvula termostática (termostato).

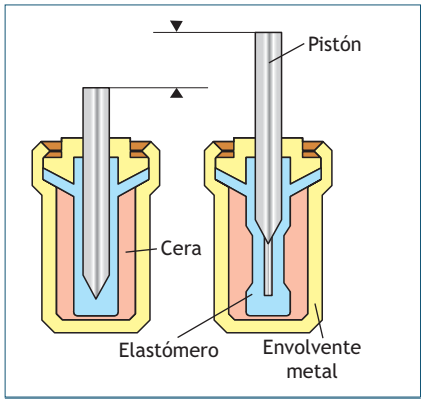
### Constitución de un termostato de cápsula de cera

El mecanismo del termostato está formado por los siguientes componentes:

– Dos válvulas, una principal y una auxiliar, que son accionadas mediante una cápsula de metal que contiene un líquido muy volátil (termostatos antiguos de fuelle), o una cera de un compuesto especial y térmicamente expansiva (termostatos actuales).
– Unos muelles que mantienen cerradas las válvulas en frío.
– Y una junta tórica que hace el cierre hermético del termostato en su alojamiento.




**15.27.** Principio de funcionamiento del termostato de cápsula de cera.



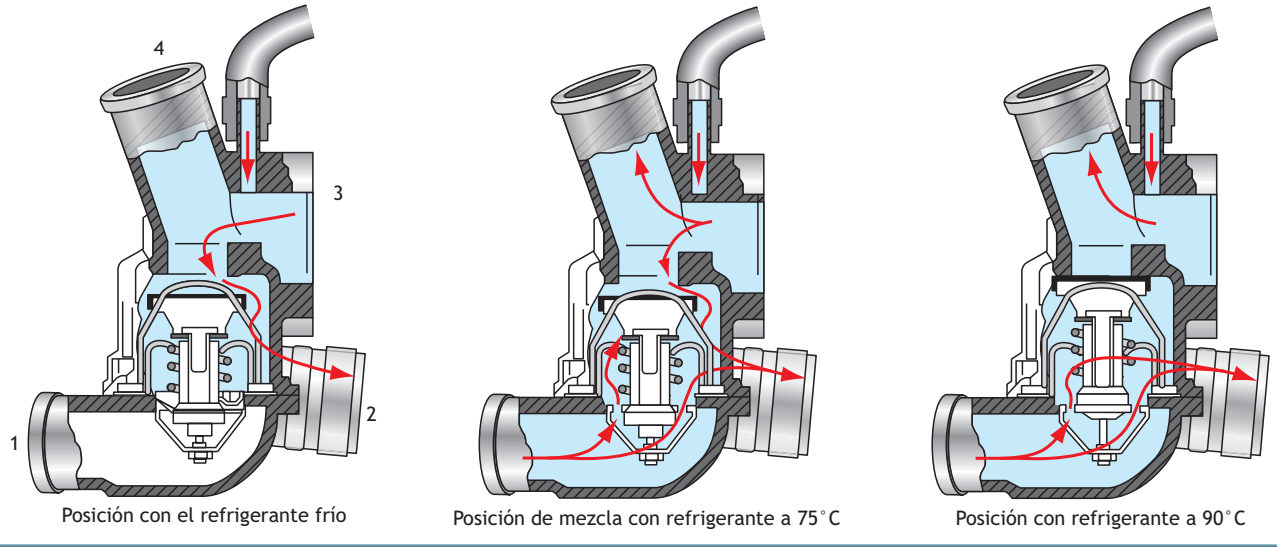

**15.28.** Constitución de la cápsula de cera termodilatable.

### Funcionamiento del termostato

Cuando el líquido de refrigeración está próximo a los 75 °C, la cera comienza a dilatarse empujando un vástago metálico. Al estar sujeto al armazón del termostato obliga a la cápsula a desplazarse y con ella comienzan a abrirse las válvulas, comprimiendo los muelles que las mantenían en reposo, y el líquido comienza a fluir de la culata hacia el radiador. Al alcanzar el líquido refrigerante los 90 °C, la válvula del termostato está abierta al máximo, permitiendo la circulación total del líquido hacia el radiador.

En realidad, el termostato regula tanto la salida del líquido refrigerante del motor hacia el radiador, como la entrada de este desde el radiador hacia el motor, y con temperaturas intermedias una mezcla de ambas (figura 15.29).

1. Llegada del líquido frío del radiador.
2. Entrada del líquido al bloque motor.
3. Salida del líquido de la culata.
4. Salida del líquido caliente hacia el radiador.




**15.29.** Posiciones de funcionamiento del termostato. Fuente: Fiat.

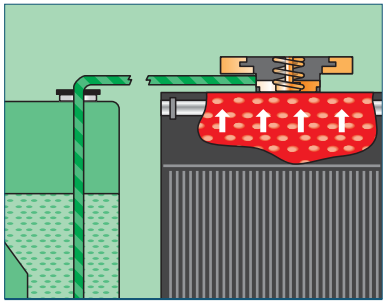
### Proceso de trabajo del termostato

Con el líquido refrigerante frío, el termostato obliga al líquido a realizar una circulación interna en el motor, impidiendo la salida y entrada del líquido refrigerante del radiador. De esta manera, se consigue un calentamiento rápido del motor.

En el momento en el que el líquido alcanza una temperatura aproximada de 70 °C, se calienta la cápsula y la cera que contiene, dilatándose y comenzando a abrir la válvula. Gracias a ello comienza una circulación progresiva del líquido hacia el radiador y la entrada desde el mismo. Con esta posición se evita que exista una circulación repentina de líquido frío procedente del radiador, que podría perjudicar el motor al producirse un cambio brusco de temperatura.

Cuando el refrigerante ya ha alcanzado una temperatura de 90 °C aproximadamente, el termostato obliga al líquido a circular hacia el radiador, permitiendo la entrada de todo el refrigerante procedente del mismo. Esta posición la adopta el termostato una vez que el motor haya alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento.

**15.30.** Colocación del termostato.

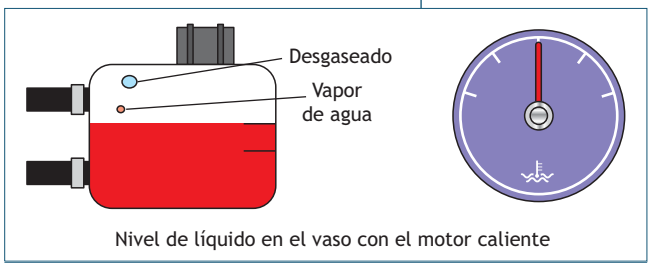


15.31. Presión del circuito sobre la válvula del radiador.

## 3.6 > El depósito de expansión

**En los circuitos cerrados presurizados de refrigeración, el circuito se conecta con un depósito auxiliar o de reserva llamado vaso de expansión, a través de la válvula de seguridad del radiador, pudiendo encontrarse también adosado al propio radiador. Este depósito se encarga de recoger el vapor del líquido refrigerante y condensarlo, cuando, por el efecto de la temperatura del motor, el líquido alcanza una cierta presión y se evapora.**

Al enfriarse el motor, el líquido refrigerante se contrae, disminuyendo su volumen.




15.32. Fases de trabajo del vaso de expansión.

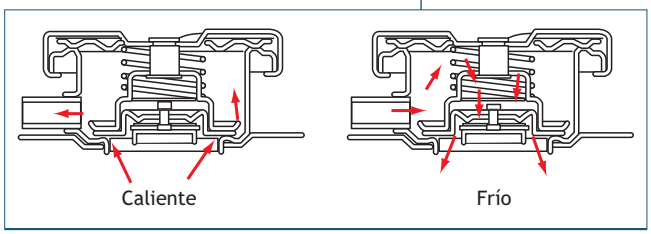
El líquido contenido en el depósito de expansión es adsorbido por el circuito, pasando a ocupar el volumen libre dejado por el líquido al enfriarse, restableciéndose de esta forma el nivel de forma automática (figura 15.32).

### La presión en el circuito de refrigeración

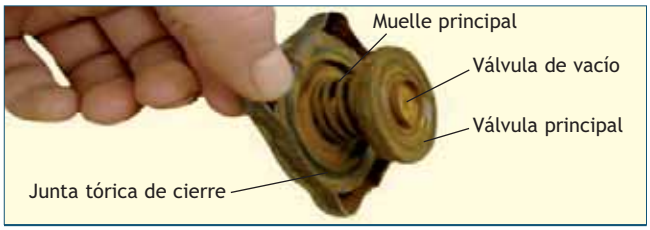
El circuito de refrigeración debe ser hermético y estar bajo presión para que funcione correctamente. La temperatura de ebullición aumenta por estar a presión el líquido, en un valor aproximado de 2,5 °C por cada 10 kPa de sobrepresión. Se consigue que el líquido pase de los 100 °C sin hervir.

15.33. Ubicación del vaso de expansión.

Si el líquido entra más caliente al radiador, la pérdida de calor es más elevada y el rendimiento de la refrigeración es mayor. Los tapones del radiador y del vaso de expansión incorporan una válvula que permite una depresión aproximada de 85 kPa en el circuito, permitiendo la entrada de la presión atmosférica para facilitar la circulación del refrigerante.




15.34. Etapas en las válvulas del tapón del radiador.




15.35. Tapón del radiador.

**Práctica 3**

**Práctica 22**

### Equivalencia entre las unidades de presión

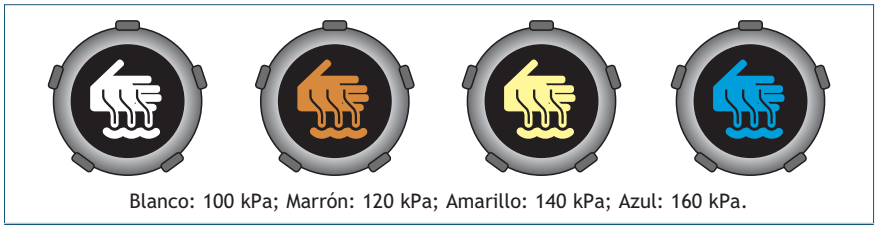
1 bar ≈ 1 atmósfera ≈ 1 kgf/cm$^2$
1 bar ≈ $10^5$ Pa = 100 kPa

### Funcionamiento de las válvulas del tapón

El funcionamiento de las válvulas del tapón es diferente si el motor trabaja en caliente o en frío:

– En caliente, la presión del líquido refrigerante levanta la válvula principal, que puede estar tarada entre 100 y 180 kPa (aproximadamente 1 y 1,8 bares de presión), comprimiendo el resorte principal y permitiendo salir el vapor a presión hacia el vaso de expansión.
– En frío, la presión interna del circuito disminuye, la válvula principal se cierra y la válvula de depresión se abre aproximadamente a 40 kPa, succionando el líquido del vaso de expansión, al permitir el tapón la incidencia de la presión atmosférica sobre el líquido.

El tapón del vaso de expansión puede llevar un color (figura 15.36), que corresponde con un código de tarado de la válvula.




**15.36.** Códigos de colores en el tapón del vaso.

## 3.7 > El ventilador

**El ventilador es el elemento encargado de crear una corriente de aire que pasa, a través del radiador, hacia el motor, refrigerando ambos.**

El ventilador es necesario, bien cuando el aire de la marcha no es suficiente para refrigerar el líquido del radiador del motor, o cuando el motor se encuentra en marcha estacionaria.

Con el motor frío, o el vehículo funcionando a cierta velocidad, el ventilador no debe funcionar, ya que absorbe potencia al motor y le hace trabajar en frío, perjudicándolo.

El ventilador se fabrica en chapa o en plástico, estando constituido de un número determinado de aspas adecuadamente orientadas, para que la corriente de aire tenga el sentido hacia el motor, es decir, el mismo que el que procede del exterior con el vehículo en movimiento.

La inclinación de las aspas varía para disminuir el ruido y las vibraciones. Las aspas pueden estar colocadas de forma asimétrica pero equilibradas.

Los ventiladores pueden ser de cinco tipos diferentes:

– De accionamiento directo o convencionales.
– Con accionamiento eléctrico o electroventiladores.
– Con regulación termostática o acoplamiento viscoso.
– Con acoplamiento electromagnético.
– Con accionamiento hidrostático.

### Ventiladores de accionamiento directo

**Los ventiladores de accionamiento directo van montados sobre un eje al que se le acopla una polea movida por una correa trapezoidal tensada. Toma su movimiento del extremo delantero del cigüeñal y mueve también la bomba de agua en el mismo eje, el alternador, la bomba de dirección hidráulica y otros accesorios.**

Este montaje se reserva en la actualidad para algunos motores de maquinaria pesada.

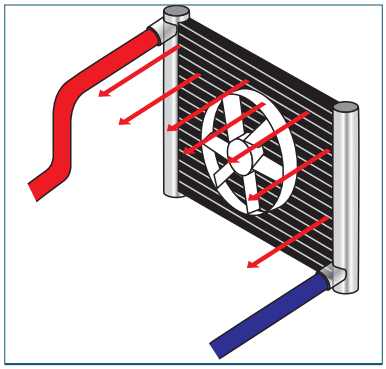
### Ventiladores de accionamiento eléctrico o electroventiladores

**Los ventiladores de accionamiento eléctrico son los más utilizados en los turismos. Están constituidos por un motor eléctrico de corriente continua, el cual mueve el ventilador solidario al eje del mismo.**

**15.37.** Válvula del tapón del vaso.

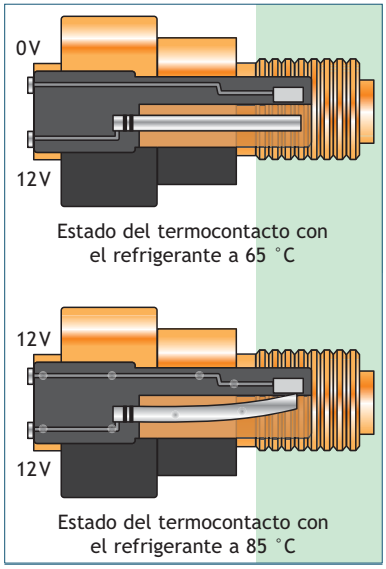
### ¿Por qué se quema la junta de culata cuando el motor se calienta?

La culata es la pieza del motor sometida a mayor temperatura. El calor que pasa a través de la misma oscila entre el 60 y el 70% del total que recibe el refrigerante, mientras que el resto se transmite por las paredes del cilindro y el pistón. Si se calienta el motor la culata es la primera pieza que lo sufre, y con ella la junta de culata.



**15.38.** Dirección de la corriente de aire creada por el ventilador.

**15.39.** Disposición del termocontacto en el radiador.




**15.40.** Funcionamiento del termocontacto.

**15.43.** Bimetal del cubo viscoso.

1. Carcasa del ventilador
2. Cubo del acoplamiento viscoso
3. Ventilador aspirador
4. Plato de sujeción del cubo
5. Polea de arrastre
6. Eje de bomba
7. Carcasa de bomba del refrigerante

Los radiadores refrigerados por electroventiladores pueden incorporar:

– Un solo ventilador de una velocidad.
– Dos ventiladores iguales, o de sección diferente, que funcionan escalonadamente.
– Un ventilador con diferentes velocidades.

**15.41.** Ventilador de una velocidad.

**15.42.** Doble ventilador con dos velocidades.

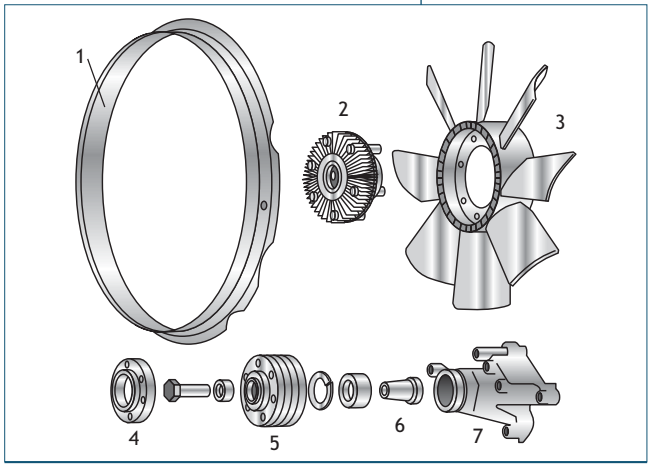
La alimentación eléctrica de los electroventiladores se realiza por medio de telerruptores (relés), regulados por los termocontactos, colocados generalmente en la parte baja del radiador. Los relés pueden estar controlados también por la centralita electrónica de inyección/encendido, en función de la señal del sensor de temperatura del líquido refrigerante colocado en el motor.

### Ventiladores con regulación termostática o de acoplamiento viscoso

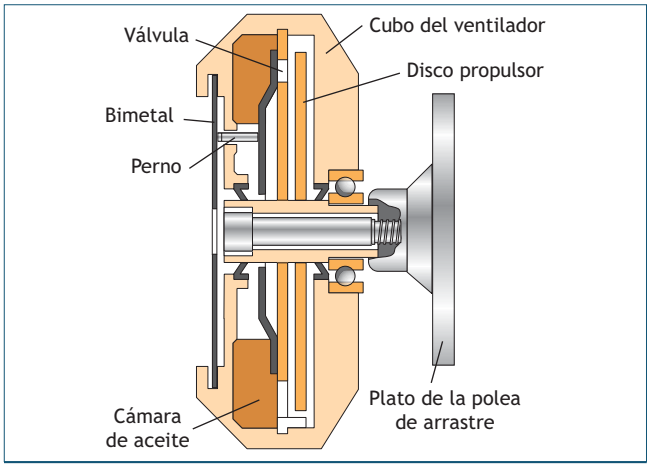
**Los ventiladores viscosos se acoplan y desacoplan en función de las necesidades de refrigeración del motor. El acoplamiento se produce por la transmisión de la temperatura del radiador sobre un bimetal del cubo del propio ventilador.**

Cuando la temperatura es baja, el ventilador gira a pocas revoluciones, aproximadamente al 25%. A una temperatura de 70 °C, o superior, el ventilador gira a la máxima velocidad.

Estos ventiladores están acoplados al eje que mueve la bomba del refrigerante, pero solo se aferran firmemente a él cuando, por la acción de la temperatura, el aceite de silicona de alta densidad contenida en el cubo viscoso, lo acopla (figuras 15.44 y 15.45).




**15.44.** Despiece del conjunto.




**15.45.** Componentes internos del cubo viscoso.

### Funcionamiento del cubo viscoso

El régimen del ventilador es regulado a través de un bimetal montado en el centro del cubo. En función de la temperatura, desplaza un perno abriendo o cerrando una válvula. La válvula controla el paso de aceite de silicona entre el disco intermedio unido al cubo del ventilador y el disco propulsor unido al eje, de tal manera que se forma un acoplamiento hidráulico entre las dos partes. El eje es movido constantemente, junto con la bomba de refrigeración, por el cigüeñal, y el ventilador se acopla y desacopla.

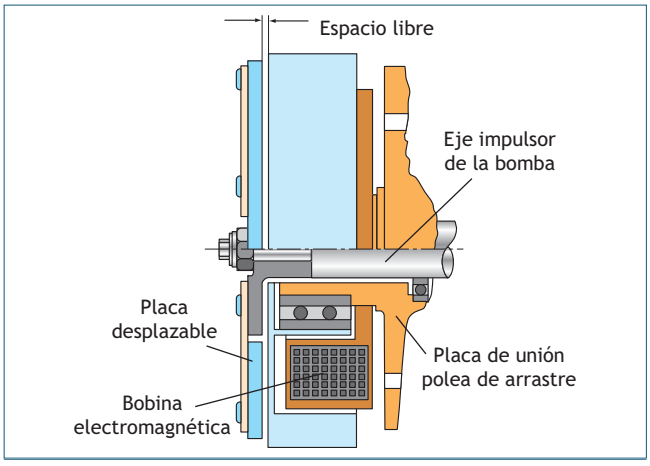
### Ventiladores con acoplamiento electromagnético

**Los ventiladores con acoplamiento electromagnético son ventiladores arrastrados por el eje que mueve la bomba del líquido de refrigeración, uniéndose a él por medio de un embrague electromagnético cuando el líquido de refrigeración alcanza aproximadamente 85 °C.**

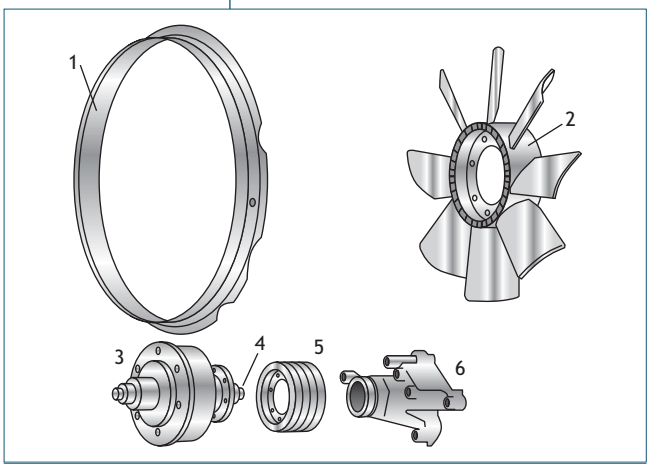
La constitución del embrague electromagnético es semejante a la del compresor del aire acondicionado.

**Práctica 23**

1. Carcasa del ventilador
2. Ventilador aspirador
3. Embrague electromagnético
4. Eje de bomba
5. Polea de arrastre
6. Carcasa bomba del refrigerante




**15.46.** Constitución del embrague electromagnético.




**15.47.** Despiece del conjunto ventilador electromagnético.

### Ventiladores con accionamiento hidrostático

**Los ventiladores hidráulicos emplean la energía del motor al mover una bomba hidráulica en tándem que alimenta simultáneamente la servodirección y el ventilador hidráulico, comandado por una electroválvula que activa la centralita de gestión motor, aprovechando de forma óptima la energía térmica del motor.**

## 3.8 > Poleas y correas

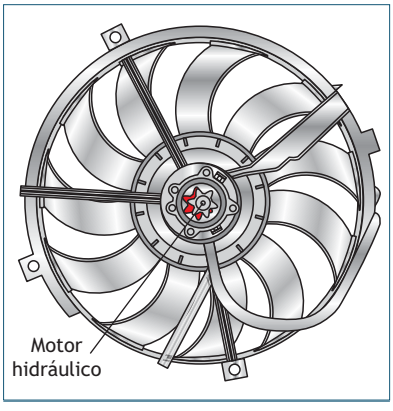
**Las poleas y correas transmiten movimientos rotativos a elementos.**

### Poleas

**Las poleas son las ruedas conductoras, o conducidas, montadas sobre un eje, encargadas de accionar un accesorio del motor.**

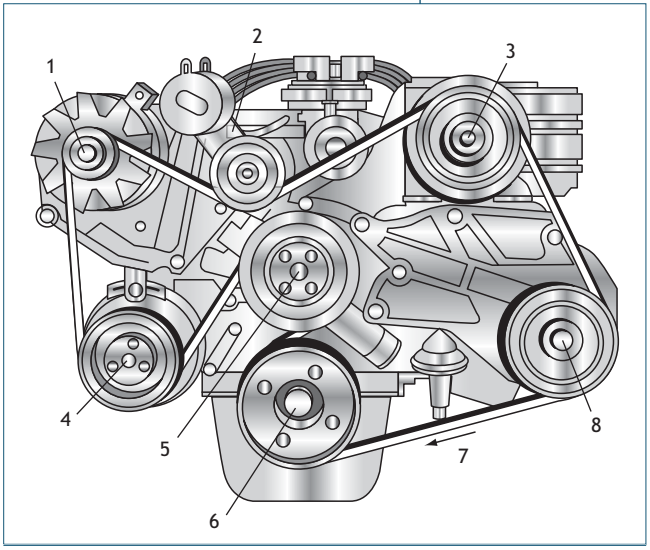
Un ejemplo de polea conductora es la polea montada sobre el extremo del cigüeñal y, en su caso, la polea montada sobre el árbol de levas.

**Práctica 12**




**15.48.** Ventilador hidráulico.

Las poleas conducidas de accesorios son las que accionan principalmente la bomba de líquido de refrigeración y el ventilador, además del alternador, la bomba de dirección asistida, el compresor de aire acondicionado, el compresor de vacío o el compresor de aire (figura 15.49).



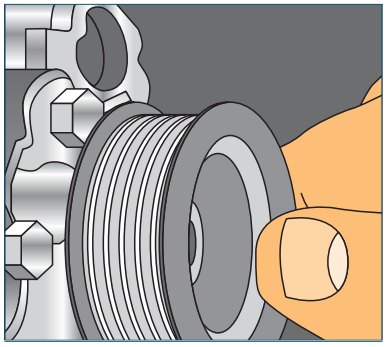

**15.49.** Esquema de montaje de una correa de accesorios.

**15.50.** Disposición de la correa auxiliar y accesorios. Fuente: Porsche.

1. Alternador
2. Rodillo tensor
3. Compresor de aire acondicionado
4. Bomba de vacío
5. Bomba de agua
6. Polea del cigüeñal
7. Sentido de giro de la correa
8. Bomba de dirección asistida

## Vocabulario

**Tensor:** mecanismo mediante el cual se corrige el destensado de una correa en una cierta distancia.



**15.51.** Polea acanalada. Gates.

Las poleas pueden ser de los siguientes tipos:

– Poleas planas: tienen la superficie de contacto con la correa plana, sin ningún canal. Estas poleas son utilizadas principalmente en los tensores.
– Poleas trapezoidales: tienen un canal en forma de trapecio o falsa V.
– Poleas acanaladas (figura 15.51): permiten un diseño de pequeño diámetro, y disponen de varios canales para el arrastre de la correa. Son las más utilizadas en las poleas de accesorios.

En la actualidad se montan **poleas unidireccionales** con grandes ventajas:

– Reducción de vibraciones y de ruido de los accesorios.
– Reducción de daños a la correa.
– Ahorro de combustible.

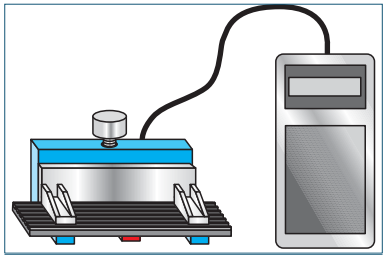
### Correas

**Las correas son las cintas que transmiten el movimiento entre las poleas. Están fabricadas de goma, reforzadas generalmente con hilos de nailon.**

Con el uso, las correas tienden a alargarse, aunque disponen de un sistema de tensado. Deben llevar la tensión correcta para aumentar el esfuerzo de contacto en las poleas evitando el resbalamiento, sin ser excesivo el tensado para no dañar los rodamientos ni la propia correa.

Las correas se tensan mediante tensores manuales o automáticos. Para medir la tensión en una correa, hay que tener en cuenta la deformación o la vibración causada por la tensión. Existen dos principios de medición de la tensión en las correas, por vibración o por deflexión, midiéndose en hercios y unidades seen respectivamente.

Toda correa extraída del motor debe ser sustituida sistemáticamente por una nueva, a causa del estiramiento que haya podido sufrir a lo largo de su funcionamiento, o por que se haya manchado de grasa durante su manipulación. Ambas razones pueden ser el origen de futuras averías serias para el motor.



**15.52.** Medición de la tensión de una correa.

### Correas trapezoidales

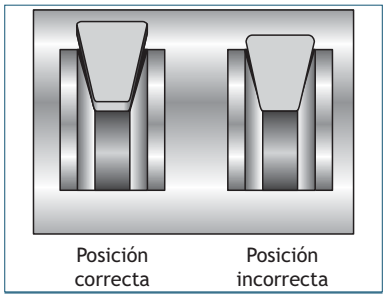
**Las correas trapezoidales son correas con sección trapezoidal que van montadas sobre poleas con la misma forma.**

Para obtener un perfecto accionamiento y agarre, su ajuste sobre la polea es lateral, debiendo quedar un espacio libre entre la correa y el fondo de la polea (figura 15.54).

### Correas acanaladas micro-V

**Las correas acanaladas micro-V son las correas con múltiples canales diseñados en forma de V en toda su longitud, formando las llamadas correas en serpentín.**

El bajo perfil de estas correas las hace muy flexibles y permite instalarlas fácilmente en poleas pequeñas, trabajando tanto por la parte acanalada como por la parte trasera.




**15.53.** Esquema de montaje de las correas trapezoidales.

### Correas elásticas

**Las correas elásticas son aquellas que no necesitan rodillo tensor. Algunos motores están equipados con ellas.**

### Tensores automáticos

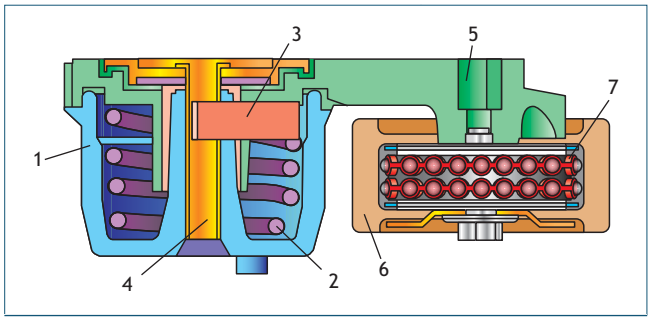
El accionamiento de los múltiples accesorios del motor se realiza, en la mayoría de los casos, por una sola correa acanalada que propulsa todos ellos. La mayoría de los motores con transmisiones serpentinas están equipados con un tensor automático.

**Los tensores automáticos actúan cuando la tensión de la correa sobre la que trabajan disminuye, haciendo que se mantenga siempre la misma tensión. Esta tensión se suministra por un fuerte resorte, situado en el centro de una cápsula, a la cual se fija una polea. La polea gira alrededor de la cápsula del resorte y genera una tensión de correa constante.**

Los tensores automáticos aportan numerosas ventajas al sistema de transmisión por correas:

– La tensión correcta se mantiene durante toda la vida de la correa.
– Reducen el mantenimiento y la necesidad de volver a tensar las correas periódicamente.
– Aumentan la duración de la correa al mantener una tensión ideal en su funcionamiento.
– Eliminan la necesidad de aplicar una tensión inicialmente muy elevada para compensar la caída de tensión durante su funcionamiento, aumentando la duración de los accesorios.

**15.54.** Disposición de una correa acanalada. Fuente: Volkswagen.



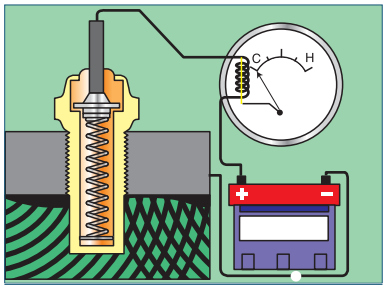

15.55. Esquema de tensor automático. *Gates*.

15.56. Tensor automático.

1 Cápsula
2 Muelle
3 Amortiguador
4 Cojinete
5 Palanca de accionamiento
6 Polea
7 Rodamiento de precisión

## Vocabulario

**Sensor NTC (coeficiente negativo de temperatura):** consta de una resistencia que aumenta al disminuir la temperatura del líquido refrigerante y viceversa. El sensor está construido a base de óxidos férricos semiconductores y su diseño puede adoptar diversas formas.




15.57. Esquema del indicador de temperatura.

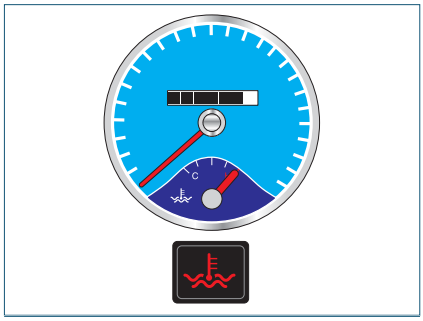
15.60. Tapones de protección de la culata.

## 3.9 > Dispositivos de control: indicador de temperatura

**El indicador de temperatura es un testigo colocado en el tablero de a bordo del vehículo, que nos indica la temperatura del líquido refrigerante del motor.**

Es un instrumento de medida de lectura indirecta. Consta de un transmisor con una resistencia de tipo NTC en contacto con el líquido refrigerante, y sensible a las variaciones de temperatura, que transmite al indicador del cuadro una señal eléctrica, la cual varía en función de la temperatura del líquido (figura 15.57). Los indicadores pueden ser analógicos o digitales.

El sistema de control de la temperatura del motor también dispone de un termointerruptor que conecta un testigo de color rojo en el panel de instrumentos cuando se ha alcanzado una cierta temperatura. Un indicador luminoso de nivel, de color rojo, puede encenderse cuando el líquido anticongelante desciende de un nivel mínimo (figura 15.58). El testigo lo conecta o desconecta un interruptor movido por un flotador que se monta sobre el vaso de expansión.



15.58. Indicador de temperatura y testigo luminoso.

15.59. Tapones de protección del bloque.

## 3.10 > Tapones de protección del bloque y culata contra la congelación

**Para evitar el agrietamiento de la culata y el bloque en circunstancias de posible congelación del líquido refrigerante, se colocan unos tapones a presión en ambas piezas (figuras 15.59 y 15.60), teniendo previsto que salten de su alojamiento, y permitiendo la expansión al líquido si llega al punto de congelación, con el consiguiente aumento de volumen.**

## 3.11 > El líquido refrigerante

**El líquido refrigerante o anticongelante absorbe el calor excesivo del motor evitando que las piezas alcancen temperaturas de fusión.**

En la actualidad se desaconseja el agua como medio refrigerante, porque causa problemas en el circuito de refrigeración y al propio motor:

– Provoca corrosión.
– Contiene sales que se depositan en las paredes de las camisas ocasionando cavitaciones, además de obstrucciones en los conductos.
– Se congela a 0 °C pudiendo provocar serios daños al motor.
– Su punto de ebullición (100 °C) está por debajo del líquido anticongelante.

Para evitar estos inconvenientes, se deben añadir al circuito de refrigeración solo los líquidos refrigerantes-anticongelantes diseñados para este fin.

### Tipos de anticongelantes

Existen en el mercado dos tipos de anticongelantes que se diferencian en los aditivos que los integran: **orgánicos** e **inorgánicos**.

Estas dos clases de anticongelantes pueden presentarse concentrados o listos para su uso. Los concentrados deben diluirse obligatoriamente en agua destilada en la proporción que determine el fabricante dependiendo de las temperaturas a las que pueda estar expuesto el motor.

Práctica 20

### Composición del líquido refrigerante

Los componentes de los líquidos refrigerantes son los siguientes:

– **Agua destilada.** El agua es el líquido que mejor absorbe el calor. Para su utilización, antes hay que asegurarse de que está destilada y desionizada. Su proporción está entre un 35% y 60% del total.
– **El glicol.** Es el componente de la mezcla que rebaja la temperatura de congelación del agua y aumenta la de ebullición. El glicol no se evapora a 100 °C como el agua. No se puede utilizar en exclusiva debido a que su alta viscosidad puede impedir su circulación, además de perjudicar la absorción del calor. Su proporción está entre el 35 y 50% del total.
– **Aditivos.** Confieren a la mezcla unas características determinadas. Su proporción está entre el 5% y el 15%. Estos aditivos son generalmente:
  • **Anticorrosivos.** Protegen los elementos del sistema de la oxidación.
  • **Antiespumantes.** Evitan la formación de espumas que perjudican la evacuación del calor.
  • **Anticalcáreos.** Impiden la formación de depósitos calcáreos.

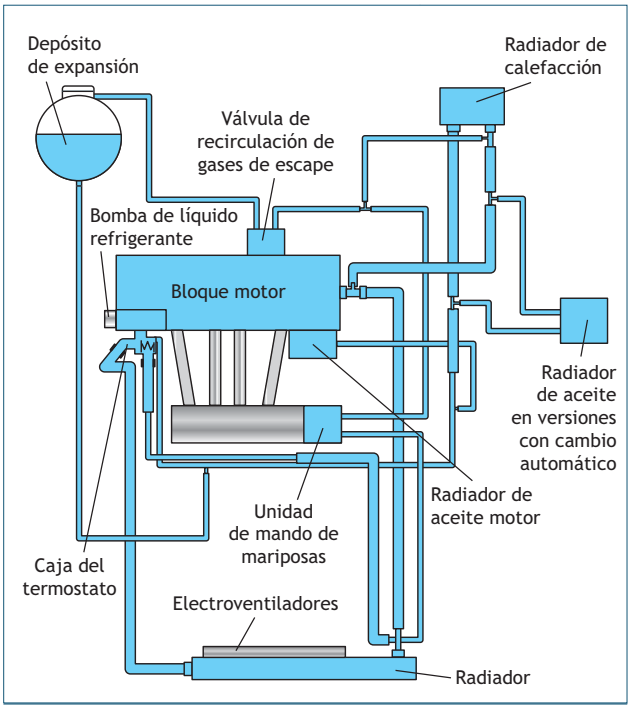
Práctica 21

### Propiedades de los líquidos anticongelantes

Los líquidos anticongelantes deben tener ciertas propiedades como:

– Capacidad para absorber el calor extra que se produce en el motor.
– Impedir la congelación del circuito de refrigeración.
– Tener el punto de ebullición por encima de 100 °C, permitiendo el funcionamiento del motor a mayor temperatura.
– Evitar la corrosión de los componentes del circuito.

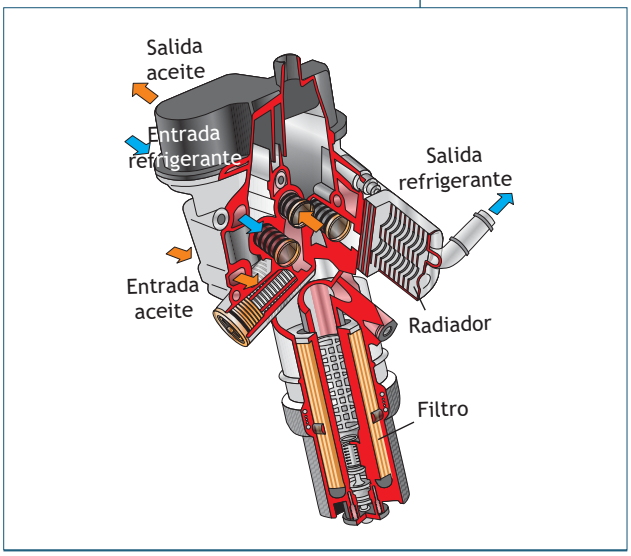
**15.61.** Anticongelante.




**15.62.** Circuito de refrigeración con elementos asociados. Fuente: Audi.

### Refrigeración del gasoil

Debido a la alta temperatura que alcanza el combustible al ser comprimido en los sistemas *commonrail*, de 150 a 180 MPa, es necesario que pase refrigerado por el conducto de retorno al depósito.




**15.63.** Intercambiador de calor aceite-líquido de refrigeración. Fuente: SEAT.

### Recomendaciones de uso del líquido anticongelante

Cuando tengamos que añadir el líquido anticongelante al circuito de refrigeración, conviene tener presente una serie de normas:

- Consultar el manual de taller del vehículo y elegir el tipo de líquido que recomienda el fabricante. Este depende de los rangos de temperatura que vaya a soportar el motor y de los materiales de los elementos del sistema.
- Los anticongelantes concentrados deben ser diluidos en agua destilada.
- Observar las características del líquido indicadas en el envase.
- Si se va a rellenar el nivel, debe hacerse con el mismo tipo de líquido que ya tiene el circuito. Si no sabemos cuál es, se debe reponer en su totalidad.
- Todos los líquidos del motor, y del propio automóvil, pierden sus propiedades con el uso y el tiempo, por lo que conviene cambiarlos periódicamente según las recomendaciones del fabricante.
- Los líquidos refrigerantes contienen productos muy nocivos para la salud, por lo que hay que evitar el contacto directo con ellos.
- Los fabricantes de líquidos refrigerantes le añaden un colorante para facilitar la identificación del producto, así como un componente que le confiere un sabor amargo para impedir la ingestión accidental.

## 3.12 > Elementos asociados al circuito de refrigeración

El circuito de refrigeración, además de mantener la temperatura óptima para un buen rendimiento del motor, interviene en el correcto funcionamiento de diferentes sistemas asociados a este circuito (figura 15.62). A dicho circuito van conectados otros componentes o sistemas que puedan necesitar calentarse o refrigerarse. Los elementos asociados que forman parte del circuito se unen a este mediante conductos flexibles, rígidos y juntas de estanqueidad.

### Intercambiador de calor aceite-liquido refrigerante

Para mantener el aceite a una temperatura óptima, y para que pueda cumplir con la misión de lubricar y refrigerar el motor, en los motores actuales existe un elemento intercambiador que cede el exceso de calor del aceite al líquido refrigerante.

Este intercambiador es un pequeño radiador formado por una serie de conductos por los que circula el líquido refrigerante. Dispone en su interior de canalizaciones de entrada y salida del aceite al filtro, cediendo de esta forma el calor al líquido refrigerante (figura 15.63).

## 4 >> Nuevos elementos del sistema de refrigeración

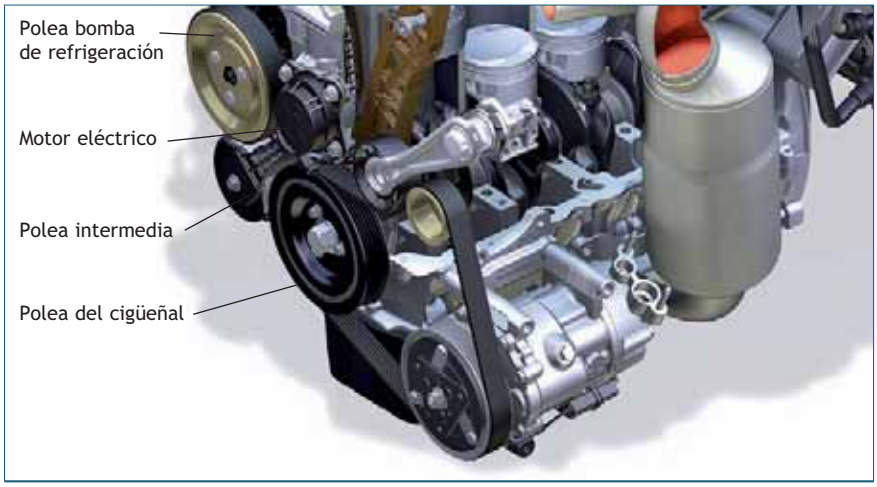
Los componentes del sistema de refrigeración han sufrido una rápida evolución con el objetivo de regular la temperatura de servicio del motor a un valor teórico en función del estado de carga. Con ello se persiguen las siguientes finalidades:

– Disminuir el tiempo de calentamiento.
– Aumento de potencia con ahorro de combustible.
– Reducir gases contaminantes.
– Temperaturas de servicio constantes.
– Evitar riesgos al motor en subidas de temperaturas post-marcha.

### 4.1 > Bomba de agua desconectable

En los motores de gasolina fabricados en un proyecto de cooperación entre BMW Group y PSA Peugeot Citroën, la bomba de refrigeración es accionada por un disco de fricción, a través de una polea intermedia movida por un motor eléctrico, gestionado, a su vez, por la centralita electrónica.

Solamente se conecta cuando el motor ha alcanzado una cierta temperatura, disminuyendo el tiempo de calentamiento del mismo. Con este sistema se consigue mayor potencia en frío, ahorrando combustible y reduciendo los gases contaminantes.




**15.65.** Accionamiento de la bomba de refrigeración desconectable.

### 4.2 > Sistema de refrigeración regulado electrónicamente

La refrigeración electrónica regula la temperatura del motor en función del estado de carga:

– A un régimen de carga parcial la temperatura ha de ser más alta, teniendo como resultado una potencia mayor, y una reducción en el consumo y en la emisión de gases contaminantes.
– A un régimen de plena carga, si la temperatura es más baja, la potencia aumenta al soportar el aire aspirado menores temperaturas.

**15.64.** Motor de gasolina. Proyecto BMW y PSA.

### Cartografía

En los motores actuales, se diseña la cartografía en la unidad de control del motor en función de ciertos parámetros. La unidad de control se encarga de regular la temperatura óptima de servicio a través de un termostato calefactable eléctricamente, y por la variación de la velocidad de los ventiladores. De esta forma se adapta la refrigeración en función de la carga.

Los componentes principales de la refrigeración electrónica son:

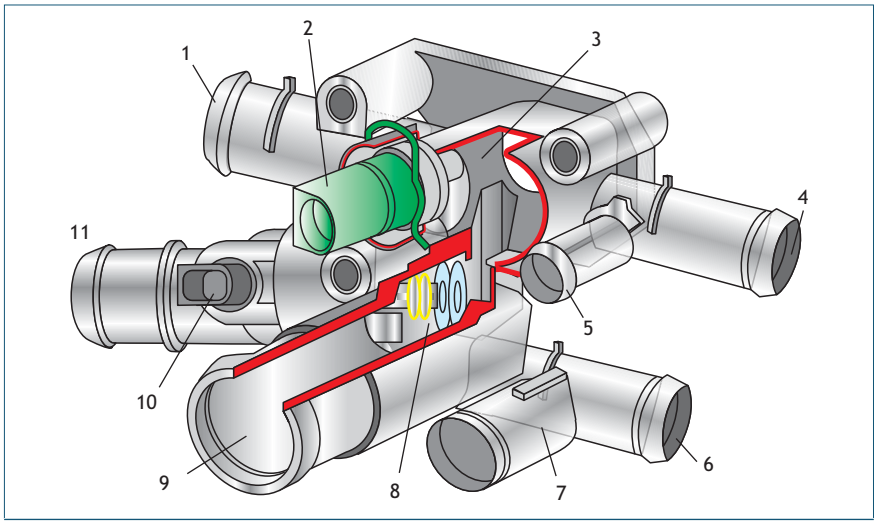
– La caja de distribución del líquido refrigerante.
– El termostato calefactable eléctricamente, gestionado por la centralita según las características de refrigeración.
– La unidad de control del motor, con la cartografía según las características para la refrigeración electrónica.

### Constitución de la caja de distribución

La caja de distribución del líquido refrigerante se monta sobre la culata. Está dividida en dos niveles comunicados por un conducto vertical a través del termostato que abre o cierra por medio de una válvula (figura 15.66):

– El nivel superior reparte el líquido refrigerante hacia los diferentes componentes, excepto a la bomba de refrigeración.
– En el nivel inferior se encuentra conectado el retorno de líquido refrigerante, procedente de los diferentes componentes.

1 Alimentación hacia el radiador
2 Transmisión hacia el radiador
3 Transmisor de temperatura del líquido refrigerante
4 Conducto refrigerante procedente del motor
5 Hacia el radiador de calefacción
6 Del radiador de calefacción
7 Retorno radiador-aceite
8 Termostato gestionado por la centralita del motor
9 Hacia la bomba de líquido refrigerante
10 Terminal para la calefacción del termostato
11 Retorno del radiador




**15.66.** Caja de distribución de líquido refrigerante para gestión electrónica. Fuente: Audi.

### Termostato con regulación electrónica para líquido refrigerante

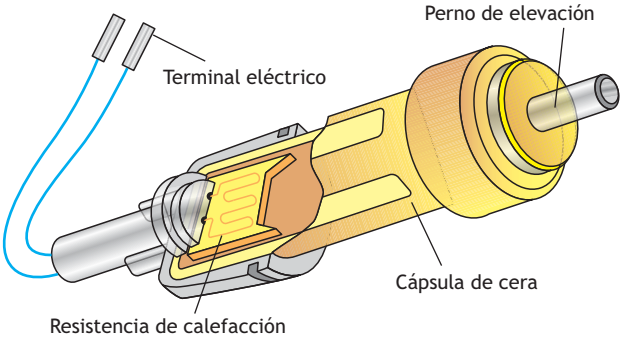
El termostato regula el paso del líquido refrigerante de manera convencional o gestionado por la unidad de control del motor.

Los elementos que lo componen son:

– Termostato con elemento de cera termodilatable.
– Módulo de calefacción por resistencia en el elemento de cera.
– Válvulas de cierre.

### Funcionamiento del termostato con regulación electrónica

La cápsula de cera regula el paso del líquido refrigerante de un modo convencional, sin calefacción, aún estando diseñada para trabajar a temperaturas diferentes. A 105 °C la cera se dilata, obligando al perno del termostato a desplazarse, abriendo el paso del líquido refrigerante. Cuando la unidad de control del motor alimenta la resistencia para la calefacción del elemento de cera (figura 15.67), origina la apertura del termostato, sin depender de la temperatura del líquido de refrigeración solamente, sino de los valores recibidos por la unidad de control.




**15.67.** Cápsula de cera con resistencia para calefacción.

### Ventiladores de activación postmarcha

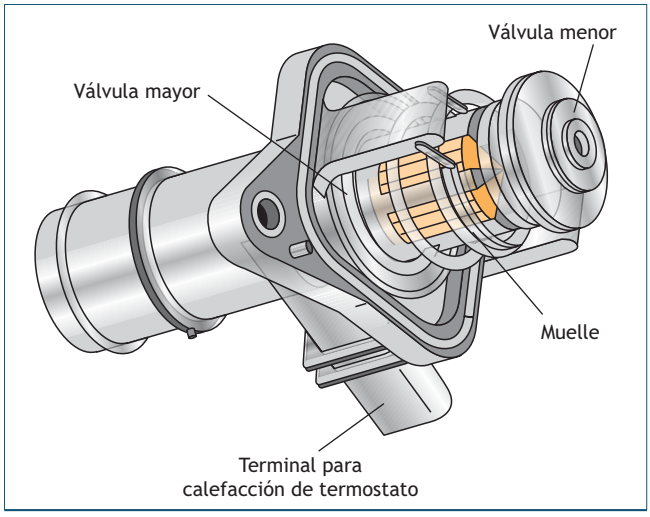
En algunos motores se implanta un ciclo de activación postmarcha para el ventilador del radiador, siendo controlado por la gestión electrónica del motor. De esta manera se puede adaptar el ciclo del ventilador postmarcha, en función de la temperatura del líquido refrigerante, de las condiciones operativas que le anteceden y de la carga a la que ha estado sometido el motor antes de la parada.

### Bomba eléctrica de circulación post-marcha o de reflujo

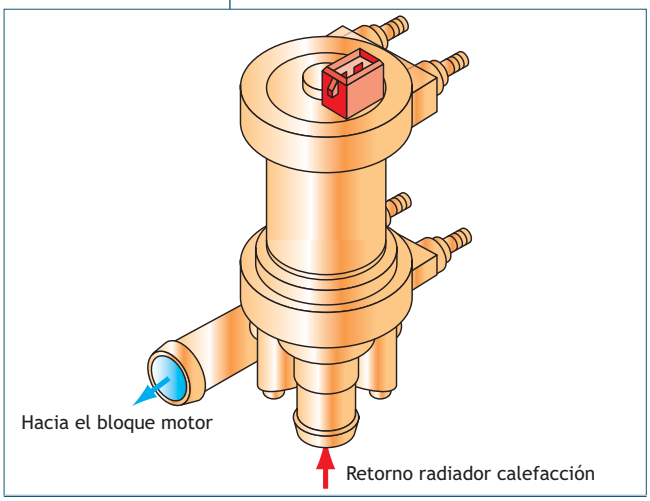
La bomba de reflujo de líquido refrigerante sirve como protección a la culata y bloque contra solicitaciones térmicas excesivas del líquido refrigerante. Por ejemplo, en la subida repentina de temperatura del motor al pararle a altas temperaturas.

### Calentadores del circuito de refrigeración (termosumergidos)

Algunos motores, para disminuir el tiempo de calentamiento, incorporan en el circuito de refrigeración unos calentadores eléctricos (termosumergidos) que mejoran el calentamiento del líquido refrigerante con el motor frío, beneficiando al sistema de calefacción del vehículo.




**15.68.** Termostato para regulación electrónica. Fuente: Audi.




**15.69.** Bomba eléctrica de circulación post-marcha montada en serie en circuito de refrigeración.

## 5 >> Averías del sistema de refrigeración

Un mal funcionamiento del circuito de refrigeración conlleva un aumento de la temperatura del motor, que puede llegar a ocasionar serios daños u obligarle a trabajar en frío, provocándole un envejecimiento prematuro.

Los síntomas que pueden determinar un mal funcionamiento del circuito de refrigeración y sus posibles causas, se resumen en la siguiente tabla:

| Calentamiento excesivo del motor | Pérdidas de líquido refrigerante | Temperatura de funcionamiento del motor demasiado baja |
|---|---|---|
| - Falta de líquido refrigerante.<br>- Mal purgado del circuito.<br>- El ventilador no funciona o lo hace con dificultad.<br>- Fusible de protección del electroventilador quemado.<br>- El termocontacto no conecta.<br>- Tapón del radiador o del depósito de expansión en mal estado.<br>- Radiador obstruido o con suciedad.<br>- Termostato agarrado, no abre.<br>- Bomba de refrigeración averiada.<br>- Correa de accionamiento de la bomba floja.<br>- Depósitos de carbonilla en la cámara de combustión.<br>- Nivel insuficiente de aceite de engrase, inapropiado o deteriorado.<br>- Tubo de escape obturado o dificultad para la salida de gases.<br>- Mal reglaje del encendido.<br>- Fugas externas en los elementos del sistema de refrigeración, detectables a simple vista. | - Fugas externas persistentes en los elementos del sistema de refrigeración, no visibles, detectables con la prueba de estanqueidad del circuito.<br>- Fugas internas hacia la cámara de combustión o el circuito de engrase, provocadas por el mal estado de la junta de culata, mala instalación, mal apriete, haberse quemado, alabeo de la culata o superficie de apoyo del bloque.<br>- Fugas internas, provocadas por picaduras en las camisas húmedas, mal asentamiento de las mismas; deterioro de sus juntas.<br>- Fugas por los elementos auxiliares del circuito de refrigeración como el intercambiador de calor del aceite.<br>Si la fuga se produce hacia el circuito de engrase, aumenta el nivel en la varilla del aceite. Si se produce hacia la cámara de combustión, el humo que sale por el escape se vuelve blanco. | - El termostato permanece permanentemente abierto; los valores de apertura no corresponden con las especificaciones del fabricante.<br>- El ventilador funciona constantemente, por estar puenteado.<br>- El termocontacto está constantemente conectado, los valores de conexión no corresponden con los especificados por el fabricante.<br>- Temperatura ambiente demasiado baja. |

### Actividades propuestas

2•• Pásate por un taller de automoción de tu entorno y solicita información sobre las averías más comunes relacionadas con el circuito de refrigeración que se presentan en el vehículo.

Haz un estudio en relación a los siguientes temas:

- Frecuencia de las averías relacionadas con el circuito de refrigeración.
- Elementos más averiados.
- Causas que provocan estas averías.
- Consecuencias de las mismas.
- Normas de prevención y mantenimiento.

3•• Investiga sobre una avería relacionada con el sistema de refrigeración, analizando los siguientes puntos: consecuencias, modo de localizar la avería, proceso de reparación y puesta en funcionamiento del circuito.

## Actividades finales

**1**·· ¿Cuál es la misión del circuito de refrigeración?

**2**·· ¿Qué tipos de sistemas de refrigeración son los más frecuentes en los vehículos?

**3**·· Enumera las ventajas de un sistema de refrigeración por aire, frente a un sistema de refrigeración mixto.

**4**·· Identifica los inconvenientes en un sistema de refrigeración mixto presurizado:

- Es un sistema más sencillo.
- La temperatura que soporta el motor en tiempo caluroso es mayor.
- El fluido utilizado para evacuar el calor del interior del motor es un líquido, expuesto a congelaciones a bajas temperaturas.
- Alcanza antes la temperatura de funcionamiento.
- La temperatura de funcionamiento en las diferentes condiciones es más constante.
- Sufre mayor desgaste el motor.
- El motor es más pesado y contiene más accesorios.
- El sistema contribuye a que el motor sea más silencioso.
- Está expuesto a un mayor número de averías en sus elementos.
- El sistema se aprovecha en otros elementos auxiliares al motor.

**5**·· Enumera los elementos que integran un circuito de refrigeración mixto presurizado y explica brevemente la misión que tiene cada uno de ellos.

**6**·· Explica el funcionamiento de un termostato. ¿Cuántos tipos hay principalmente?

**7**·· Cita las averías que se pueden producir en el motor a consecuencia del mal funcionamiento del sistema de refrigeración.

**8**·· ¿Cómo influye en el funcionamiento del motor una avería en el termostato?

**9**·· ¿Es necesario cambiar el líquido refrigerante cada cierto tiempo? ¿Por qué?

**10**·· Enumera las consideraciones que se deben tener en cuenta a la hora de añadir el anticongelante al circuito de refrigeración.

**11**·· ¿Qué misión tiene una bomba eléctrica de circulación postmarcha en el circuito de refrigeración?

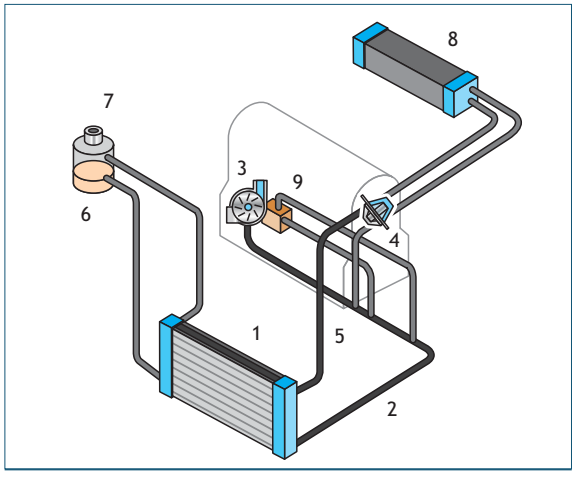
**12**·· La corriente de aire procedente del ventilador, ¿hacia dónde debe ir dirigida?

**13**·· ¿Qué elementos se verían afectados en el caso de avería del termocontacto? ¿Cómo influiría en el funcionamiento del motor?

**14**·· ¿Por qué no se debe añadir agua de forma aislada al circuito de refrigeración?

**15**·· Si alguno de los tapones del circuito de refrigeración, bien el del radiador o el del vaso de expansión, se averiasen, ¿cómo se comportaría el circuito de refrigeración?

**16**·· Nombra los elementos del circuito de refrigeración que se presentan en la figura 15.70 y explica la ubicación de los mismos en el motor.




**15.70.** Elementos del circuito de refrigeración.

## Caso final

### Avería en el circuito de refrigeración

•• Llega al taller un vehículo que presenta un mal funcionamiento del circuito de refrigeración.

¿Cómo puedes identificar el problema, su causa y su posible solución?

**Solución** •• Los tres problemas básicos que se presentan en los sistemas de enfriamiento son:

- Recalentamiento.
- Pérdida de refrigerante.
- Exceso de enfriamiento.

1. Realiza una prueba en carretera y observa si el motor se calienta más de lo normal.

2. Una vez que el vehículo se encuentre en el taller, observa los siguientes puntos:

- Comprueba si el radiador está obstruido, si el nivel del refrigerante es bajo y si las revoluciones del motor son las adecuadas.
- Cerciórate de que no hay fugas de refrigerante.
- Asegúrate de que el indicador de temperatura funciona correctamente. Mide la temperatura con un medidor exterior, como el de infrarrojos.
- Verifica el nivel del refrigerante en el radiador. Debe haber una cámara de aire en el radiador pero las celdas deben estar tapadas de líquido refrigerante.
- Observa si hay restricciones que puedan detener el flujo de aire a través del radiador. Mira si hay suciedad en los núcleos del radiador, aletas dobladas o fugas de anticongelante. Usa una luz para ver si a través del radiador hay taponamiento.
- Verifica el correcto funcionamiento del ventilador.
- Comprueba que las paletas del ventilador no están dañadas y que el aire se canaliza en el sentido correcto.
- Asegúrate de que no hay refrigerante en el aceite del motor. Esto se manifiesta por un aumento de nivel en la varilla del aceite. Puede pasar a través de la junta de culata, intercambiador o cilindros.
- Verifica el tapón del radiador. En caso de duda cámbialo.

3. El problema lo encontramos en el bajo nivel del líquido refrigerante en el vaso de expansión. Recuerda no añadir de golpe anticongelante frío en el vaso de expansión con el motor muy caliente, podrías dañar el motor con el cambio de temperatura. Hazlo muy lentamente para que el propio anticongelante iguale la temperatura o espera a que el motor se enfríe.
No quites el tapón del radiador, o del vaso de expansión, con el motor caliente o antes de que la temperatura del refrigerante haya bajado por debajo de la temperatura de ebullición. Entonces puedes aflojar el tapón hasta el primer tope para que disminuya la presión, retirándolo después.

**15.71.** Bajo nivel de refrigerante en el vaso de expansión.

**15.72.** Prueba de estanqueidad.

4. Al no encontrar fugas visibles, procederemos a realizar la prueba de estanqueidad del circuito.

5. Al realizar la prueba de estanqueidad se detectan fugas de importancia.

6. Encuentras las fugas exteriores en el asiento de la bomba.

7. Comprueba también el nivel de aceite, para tener la seguridad de que no existen fugas internas. El nivel del aceite en el motor es correcto.

**15.73.** Pérdida de anticongelante en el asiento de la bomba.

**15.74.** Fuga por manguito picado.

**15.75.** Nivel de aceite correcto.

8. Después de reparar la avería de la bomba cambiar el manguito deteriorado, procede a llenar el circuito de refrigeración y realizar la purga del mismo.

El orden que debes seguir en las operaciones de llenado y purga del circuito de refrigeración es el siguiente:

- Llena el circuito por el vaso de expansión hasta rebosar.
- Abre los tornillos de purga y espera a que salga el refrigerante libre de aire.
- Cierra los tornillos de purga cuando fluya el refrigerante.
- Coloca el tapón del vaso de expansión.
- Arranca el motor, súbelo a 2 000 rpm, y espera a que el electroventilador se active y se corte dos veces.
- Para el motor y deja que se enfríe.
- Controla y ajusta el nivel del líquido refrigerante en el vaso de expansión.

**15.76.** Llenando el circuito.

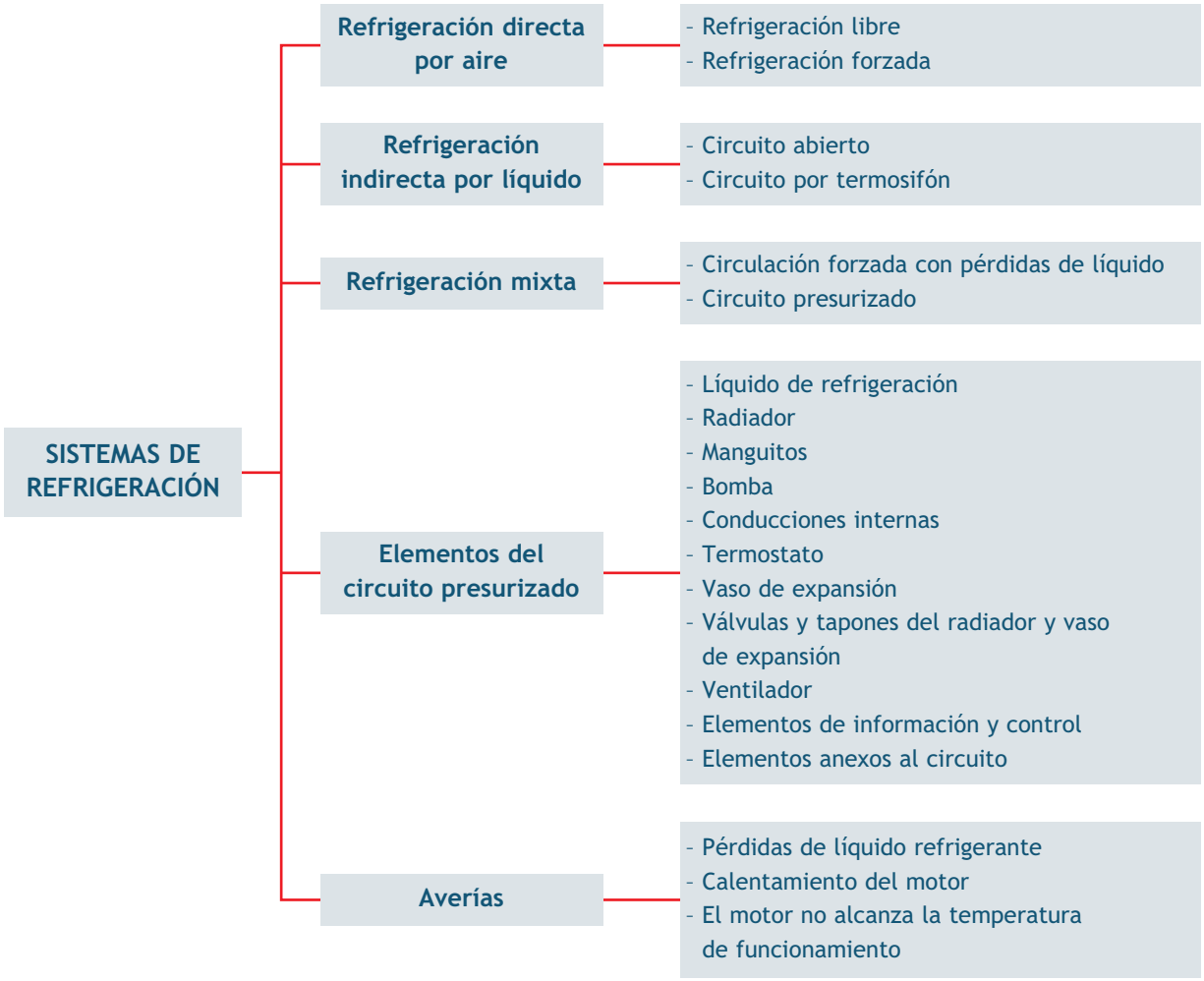
**15.77.** Purgadores.

**15.78.** Tapando el vaso.

9. Realiza una prueba en carretera del vehículo y comprueba que no existe ninguna anomalía.

10. La avería ha quedado solucionada y el vehículo listo.

## Ideas clave


SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN
Refrigeración directa por aire
- Refrigeración libre
- Refrigeración forzada
Refrigeración indirecta por líquido
- Circuito abierto
- Circuito por termosifón
Refrigeración mixta
- Circulación forzada con pérdidas de líquido
- Circuito presurizado
Elementos del circuito presurizado
- Líquido de refrigeración
- Radiador
- Manguitos
- Bomba
- Conducciones internas
- Termostato
- Vaso de expansión
- Válvulas y tapones del radiador y vaso de expansión
- Ventilador
- Elementos de información y control
- Elementos anexos al circuito
Averías
- Pérdidas de líquido refrigerante
- Calentamiento del motor
- El motor no alcanza la temperatura de funcionamiento

# EQUIPOS PARA LA **LIMPIEZA** Y **COMPROBACIÓN** DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

El circuito de refrigeración del motor requiere una serie de controles, entre ellos cabe destacar:

– Limpieza de la suciedad acumulada en la parte exterior del radiador.
– Control del punto de congelación del anticongelante.
– Sustitución del anticongelante.
– Limpieza, llenado y purga del circuito.
– Comprobación de posibles fugas de anticongelante por los diferentes elementos que integran el sistema.

**15.79.** Equipo de limpieza del circuito de refrigeración.

**15.80.** Control del punto de congelación.

Algunas de estas operaciones se pueden llevar a cabo manualmente, con ayuda de ciertas herramientas. Para la realización de otras, existen ciertos equipos que pueden ser de gran utilidad para el mecánico, restándole trabajo y disminuyendo el tiempo invertido en su reparación. Además, gracias a ellos se consigue una intervención más eficaz y segura para el mecánico, y más respetuosa con el medioambiente. Uno de estos equipos puede ser el que se presenta a continuación: máquina WÜRTH WRS 25.

### WÜRTH WRS 25

El mecánico se puede servir de este moderno y sofisticado equipo para efectuar la sustitución del líquido anticongelante, y para realizar una limpieza exhaustiva de los circuitos de refrigeración. Esta máquina se puede utilizar tanto en los vehículos de gasolina, como en los diésel. Además podemos comprobar la estanqueidad del circuito, con lo que se podrán detectar posibles fugas.

Se alimenta con la tensión de la batería del vehículo.

La conexión de la máquina al circuito se hace en serie, intercalando la misma entre el manguito que va del radiador al motor. Para ello dispone de dos mangueras, señaladas como *al radiador* y *al motor,* las cuales están provistas de unas llaves de cierre.

**Fuente: cesvimap**

unidad 16

# Motores rotativos

## SUMARIO

- Historia
- Motor wankel: constitución, funcionamiento, ventajas e inconvenientes

## OBJETIVOS

- Conocer la evolución y desarrollo de los motores rotativos.
- Saber identificar los componentes de un motor wankel.
- Conocer el funcionamiento del motor wankel.
- Valorar las ventajas e inconvenientes de los motores wankel.

## 1 >> Inicio de los motores rotativos

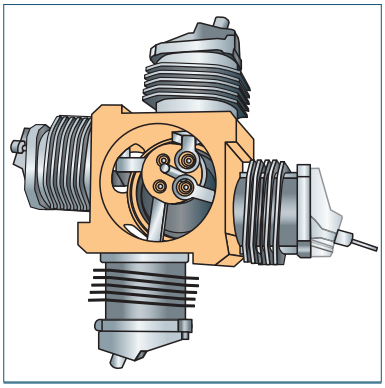
A lo largo de la historia se han inventado y construido muchos tipos de motores, con mayor o menor fortuna comercial. Entre ellos se encuentran los motores rotativos, siendo el más desarrollado el llamado **wankel.**

El motor wankel fue inventado por el alemán Félix Wankel en 1924. La empresa NSU, dedicada al montaje de motocicletas y pequeños vehículos, se interesó por su motor. En 1957 Wankel y NSU completan el primer prototipo de motor DKM mejorándolo con el KKM (motor parecido a los actuales) que más tarde, en 1958, se lanzaría al mercado. Varias empresas se interesan a principios de los años sesenta por el motor wankel (Mazda, Mercedes y Citroën). En 1967 Mazda vende su primer modelo competitivo con motor rotativo, el Cosmo Sport. Más tarde, salió a la venta el RX-7 que fue retirado de los mercados europeo y norteamericano por un problema de emisión de hidrocarburos sin quemar. Mazda ganó en 1991 las 24 horas de Le Mans con su prototipo 787B rotativo.

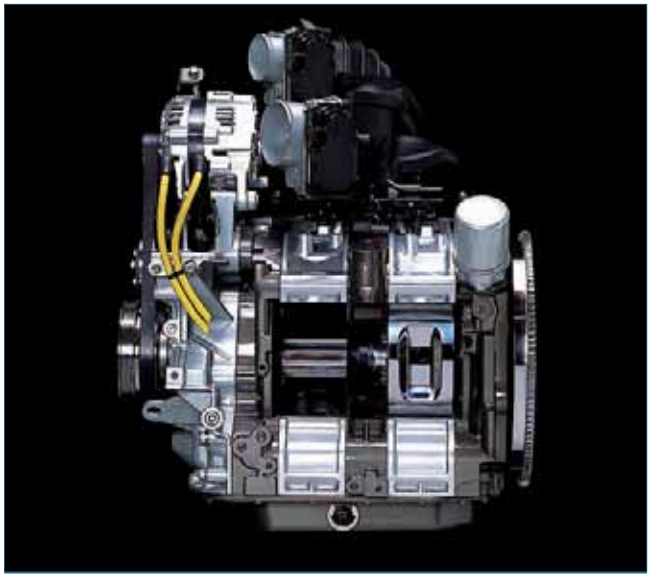
La última evolución del motor rotativo realizada por Mazda fue el Rénesis, el cual fue elegido mejor motor internacional en los años 2003-2004. Este motor (de dos rotores) con solo 1,3 litros genera una potencia de 240 CV.

Actualmente se sigue investigando en motores rotativos. Un ejemplo de ello es el **motor markel,** cuya estructura es similar a un motor alternativo de varios cilindros, con la particularidad de que todo el cuerpo del motor gira sobre un eje fijo. Históricamente, casi todos los motores rotativos han sido de gasolina, pero se ha desarrollado algún modelo diésel, y en la actualidad también los hay con hidrógeno como combustible.

A lo largo de la presente unidad, se estudiará el motor wankel, por ser este el único de los motores rotativos que existe en el mercado en una cantidad aceptable, aunque muy lejos de los alternativos, que son, con diferencia, los más usados para la propulsión de vehículos.



**16.1.** Motor markel.



**16.2.** Motor wankel de 2 rotores.

**16.3.** Motor wankel de 4 rotores para competición.

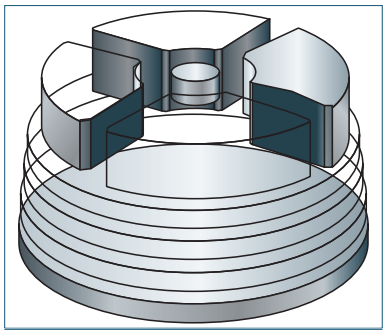
## 2 >> Estudio del motor wankel

De todos los motores rotativos, el más conocido es el wankel. A continuación se detallan las partes que componen el motor, el aporte al funcionamiento del mismo que tiene cada una y las ventajas e inconvenientes que presentan este tipo de motores.

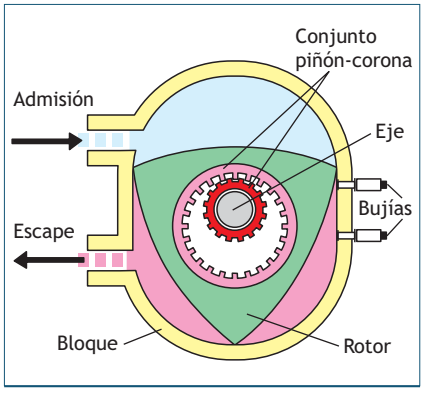
### 2.1 > Constitución del motor wankel

Como ocurre en los motores alternativos, el motor wankel está formado por un conjunto de elementos cuya unión hace posible el funcionamiento del mismo. Estos elementos son:

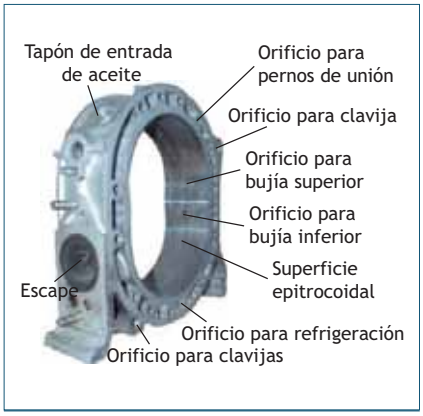
– **Bloque o estator.** Fabricado en aleación ligera. En su interior se puede encontrar una camisa, la cual tiene una superficie de rozamiento formada por una capa de cromo y molibdeno con recubrimiento de grafito por su cualidad de autolubricación. En el bloque se encuentran ubicadas las lumbreras (orificios sin válvulas) de admisión y escape, y los orificios para las bujías. El bloque también contiene los conductos por donde pasará el refrigerante. Se pueden considerar parte del bloque los cierres laterales, y hay versiones que llevan aquí alguna de las lumbreras. Estos cierres tienen la función de aislar las tres cámaras de combustión durante los 4 tiempos del ciclo, el circuito de engrase y el de refrigeración. El bloque, en su interior, tiene forma de epitrocoide.



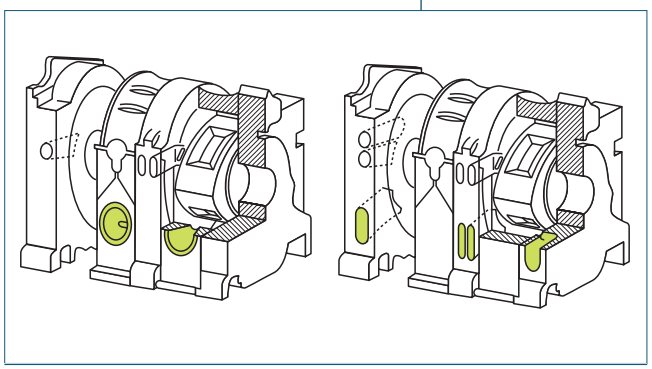
**16.4.** Electrodos de bujías en motores rotativos.




**16.5.** Principales componentes del motor wankel.



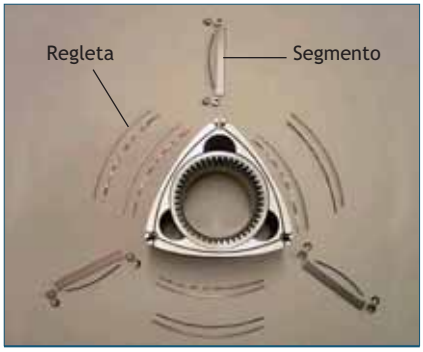

**16.6.** Estator o bloque motor.



**16.7.** Diferentes disposiciones de lumbreras de escape.

– **Rotor.** Tiene forma triangular con tres lados iguales y ligeramente convexos, en los que se han practicado unos vaciados en el centro de cada una de las tres caras a modo de cámaras de combustión. En un lateral tiene atornillado un dentado interno llamado corona. El interior es hueco, para alojar los rodamientos o cojinetes, los cuales se apoyarán en las excéntricas del árbol motriz. En los dos laterales de la zona superior tienen unas ranuras con la misma forma del rotor, donde se alojan las regletas. En la zona inferior, cerca de la corona, hay otras ranuras circulares que alojan los retenes de estanqueidad del aceite.

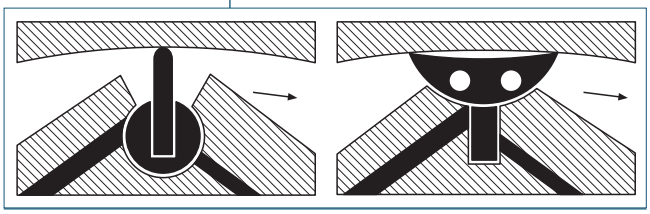
16.8. Rotor y cámara de combustión.




16.9. Patines y segmentos.

El rotor a su vez está constituido por:

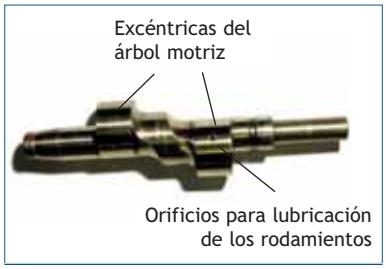
- **Patines o segmentos radiales.** Son las piezas encargadas de conseguir la estanqueidad radial de las tres cámaras durante el giro del rotor. Estos se encuentran en los vértices ranurados del rotor. Llevan muelles para garantizar el contacto con el estator, para que de esta forma no haya pérdidas de presión.
- **Regletas o segmentos axiales.** Realizan la estanqueidad lateral (axial) entre el bloque y el rotor. Están provistas de muelles expansores que se instalan en las ranuras de los laterales del rotor para asegurar su contacto con las paredes laterales del bloque. Estos muelles tienen un aspecto similar a una lámina doblada en forma de ola.
- **Tacos.** Son los elementos situados en las esquinas del rotor, y que sirven como base de unión entre los patines y las regletas. También llevan unos muelles en forma de arandela doblada. Los segmentos laterales (regletas) llegan hasta la zona de unión del taco. Este dispositivo es el que más problemas ha causado en la estanqueidad, y sobre el que más se ha investigado, por lo que hay muchas versiones.



16.10. Diferentes soluciones en el vértice.

16.11. Versión moderna del taco.

– **Árbol motriz.** Se encuentra apoyado en sus extremos por rodamientos sobre las piezas laterales estáticas. La transmisión de fuerzas entre el rotor y el árbol se realiza a través de la excéntrica. El árbol se fabrica con tantas excéntricas como rotores tenga el motor, y sobre estas se montan los rodamientos o cojinetes que servirán de apoyo para los rotores.



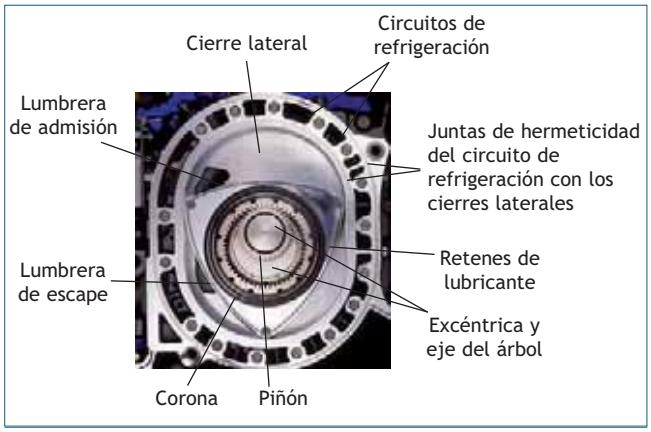

16.12. Árbol motriz para un motor con dos rotores.

## 2.2 > Funcionamiento

El motor wankel tradicional realiza un ciclo otto de 4 tiempos. Cada cara del rotor se puede considerar como un cilindro, ya que en una vuelta, cada una de ellas realiza un ciclo de trabajo completo. El motor tiene tres caras, por ello realiza tres ciclos de trabajo por cada vuelta del rotor, y por cada una de ellas, el árbol motriz gira tres veces. El rotor gira sobre el piñón excéntricamente (el eje de giro del rotor no se corresponde con el centro geométrico del mismo y durante toda su rotación, los vértices (segmentos) están en contacto directo con la camisa. El proceso de admisión y escape se hace por lumbreras, por lo que no necesita sistema de distribución.

### Piñón-corona

La relación del número de dientes entre la corona (del rotor) y el piñón (del estator) es de 1,5. Valores típicos son de 60/40, 45/30 y 33/22.




**16.13.** Sección de motor wankel.

## Ciclo teórico

El ciclo que describe cada cara del rotor es equivalente a un cilindro que realiza un ciclo otto. Como en cada giro del rotor se realizan tres ciclos, el motor es equivalente a uno alternativo de 3 cilindros.

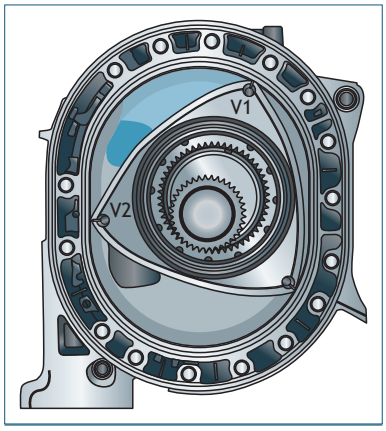
A continuación se muestra el proceso termodinámico que sigue una de las caras del rotor hasta completar un ciclo:

– **Primer tiempo o admisión.** Cuando el vértice V1 rebasa la lumbrera de admisión, la mezcla entra en la cámara situada entre los vértices V1 y V2, debido a la depresión que se va generando a medida que el rotor gira, ya que el volumen aumenta. Cuando el vértice V2 llega a la lumbrera de admisión y la cierra, se finaliza el primer tiempo.

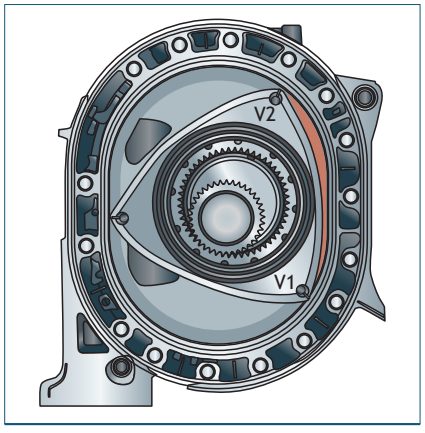
– **Segundo tiempo o compresión.** Se inicia cuando acaba el primer tiempo, y continúa hasta que los gases ocupan el mínimo volumen posible. Esta disminución de volumen es debida a la forma del bloque y al giro del rotor. Antes de que finalice este tiempo, saltará la chispa (dependiendo del reglaje del fabricante). Esta técnica permite mejorar el rendimiento, y es similar a lo que sucede en los motores alternativos de explosión. Como ya se ha explicado en unidades anteriores, a este fenómeno se le llama avance al encendido (AE), y se mide en grados de giro.

– **Tercer tiempo o expansión o trabajo.** Se inicia cuando se alcanza la presión máxima. Esta presión ejerce una fuerza sobre el rotor que lo hace girar, y es por ello que también se le suele llamar ciclo de trabajo. Este tiempo finaliza cuando se descubre la lumbrera de escape.

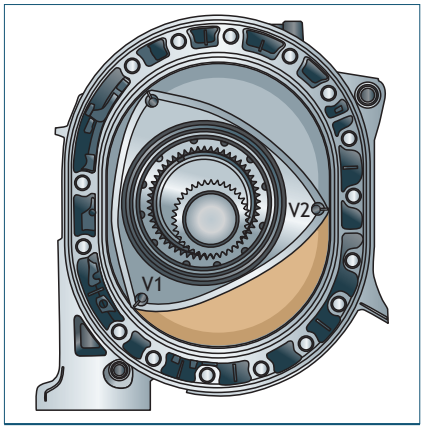
– **Cuarto tiempo o escape.** Comienza cuando el vértice V1 llega a la lumbrera de escape. Durante el giro del rotor, se descubre dicha lumbrera. En este momento, una gran parte de los gases quemados salen debido a la presión que estos tienen al final del ciclo de expansión. El rotor sigue girando y el volumen de la cámara va disminuyendo, desalojando los gases restantes hacia el exterior. Cuando el vértice V2 llega a la lumbrera de escape y la cierra, finaliza el cuarto tiempo y, por consiguiente, termina el ciclo.



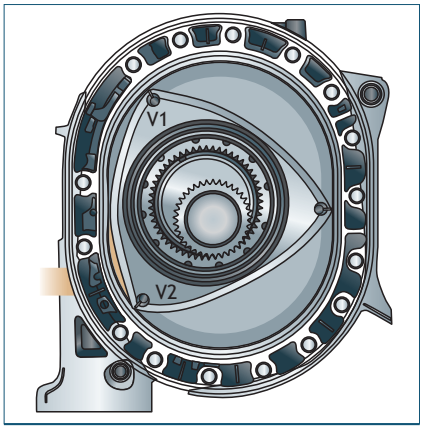

**16.14.** Admisión.




**16.15.** Compresión.




**16.16.** Expansión.




**16.17.** Escape.

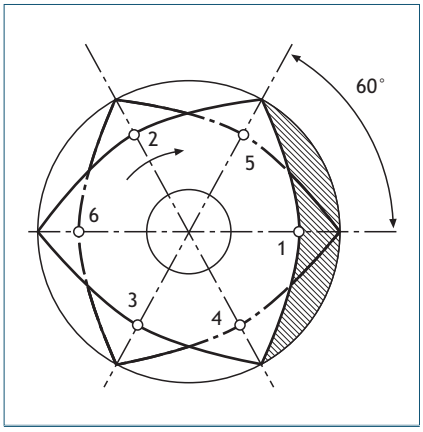
## Casos prácticos

### Orden de encendido del motor wankel

•• Obtén el orden de encendido de un motor con dos rotores, sabiendo que la numeración de las cámaras es la mostrada en la figura 16.18.

**Solución** •• De la figura se obtiene directamente que el orden es 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 4. La solución se muestra de forma esquemática en la siguiente tabla:

| | 0° | 120° | 240° | 360° |
|---|---|---|---|---|
| 1 | T | E-A | C | |
| 2 | C | T | E-A | |
| 3 | E-A | C | T | |
| 4 | T | E-A | C | T |
| 5 | C | T | E-A | C |
| 6 | A | C | T | E |




**16.18.** Numeración de las cámaras.

## 2.3 > Características de los motores wankel

Las principales características de los motores wankel son la cilindrada, la relación de compresión y el rendimiento. A continuación se detalla cada una de ellas.

– **Cilindrada.** Se calcula con la siguiente ecuación:

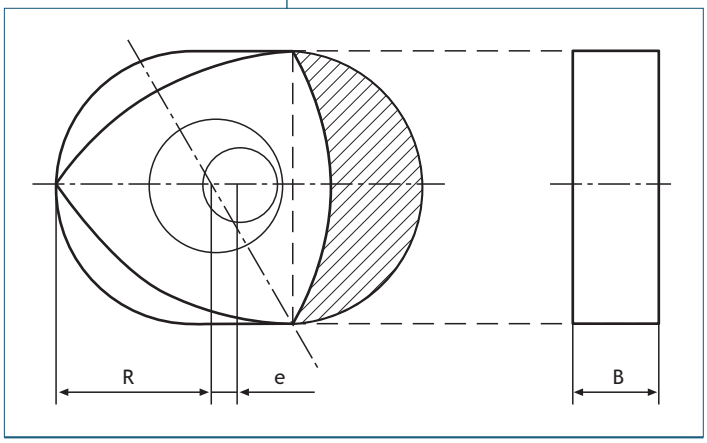
$V_u = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot B \cdot R \cdot e$ donde B, R y e son las dimensiones mostradas en la figura 16.19.

– **Relación de compresión.** Se obtiene como en los motores alternativos con la siguiente relación:

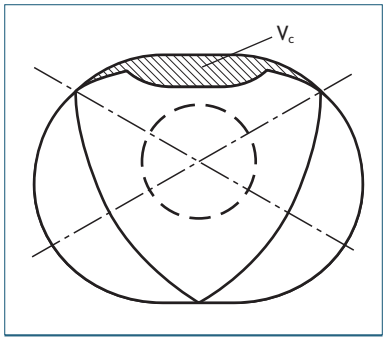
$$R_c = \frac{V_u + V_c}{V_c}$$ donde $V_u$: volumen unitario
$V_c$: volumen de la cámara de combustión

– **Rendimiento.** El rendimiento del ciclo teórico es igual al de un ciclo otto convencional que realiza los cuatro tiempos, como en un motor alternativo. Los ciclos teóricos e indicados son similares al de un ciclo otto.

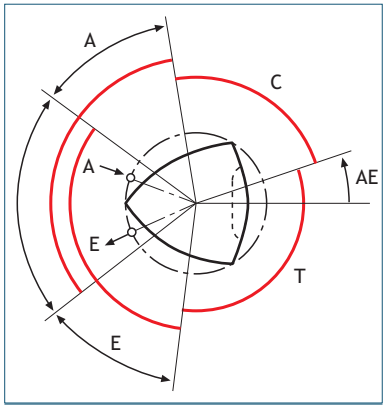
$\eta_t = 1 -$ donde $\eta_t$: rendimiento térmico
$R_c$: relación de compresión
$\gamma$: constante del gas (entre 1,15 y 1,33)




**16.19.** Dimensiones de motor wankel.




**16.20.** Rotor en zona de mínimo volumen.




**16.21.** Diagrama circular y reglaje del motor wankel.

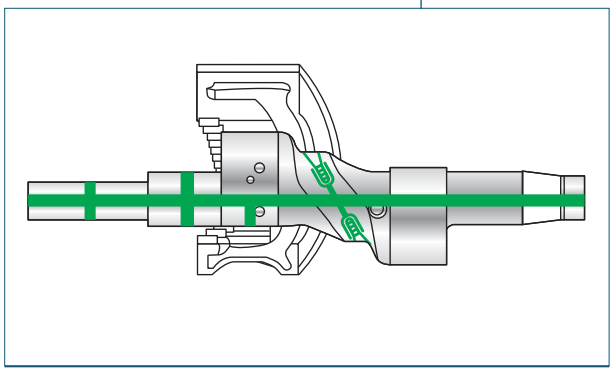
Como en los motores alternativos, el ciclo real no se corresponde con el teórico, por lo que hay que buscar técnicas que acerquen lo máximo posible los valores reales a los teóricos.

Las principales técnicas utilizadas en la actualidad son:

– Colocación y forma de las lumbreras de admisión y escape, para obtener el mejor llenado y evacuado posible de los gases.
– Avance al encendido (AE), para conseguir que se alcance la máxima presión al inicio de la expansión.
– Sobrealimentación, para aumentar el rendimiento volumétrico, mejorar el llenado y aumentar así el rendimiento.

Con estas disposiciones se consigue mejorar el ciclo, aunque nunca llegar al teórico.

### Sistema de refrigeración y engrase



**16.22.** Conductos de lubricación.

La lubricación de los segmentos se realiza añadiendo aceite al combustible mediante un dispositivo dosificador que administra la cantidad de aceite necesario según las revoluciones y la carga del motor. Los cojinetes y rodamientos se lubrican con aceite que se introduce por el árbol motriz (figura 16.22), y sale por orificios practicados en el mismo.

La refrigeración se realiza por líquido refrigerante, que circula por los conductos fabricados en el estator, y mediante aceite para las piezas interiores del rotor. Este aceite de refrigeración es el mismo que sirve de engrase a los elementos montados sobre el árbol motriz, rodamientos principalmente.

**Avance al encendido**

Si el AE es muy grande, el par generado se puede invertir tendiendo al giro en sentido inverso. Por el contrario, si el AE es pequeño, el rendimiento disminuye.

## 2.4 › Ventajas e inconvenientes de los motores wankel

Como es de esperar, el menor uso de este tipo de motores tiene que tener una explicación razonable. Aunque estos motores presentan ciertas ventajas, los inconvenientes han sido más decisivos. La siguiente tabla resume las ventajas e inconvenientes de los motores rotativos wankel, con respecto a los alternativos.

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|---|
| - Tiene menos piezas móviles y, por tanto, mayor fiabilidad, menos peso y mayor potencia específica.<br>- Todos los componentes giran en el mismo sentido, consiguiendo mayor suavidad de marcha. Cada etapa de combustión dura 90° del rotor, y cada vuelta de rotor son tres giros del eje, por lo que la combustión dura 270° del eje, frente a los 180° de los motores de pistones, lo que hace que la potencia se desarrolle de forma más progresiva.<br>- Elevado número de revoluciones, pero menor velocidad de rotación del rotor.<br>- No hay bielas, volante de inercia ni recorrido de los pistones, consiguiendo menos vibraciones y menores inercias. | - Es más complicado controlar el nivel de emisiones contaminantes.<br>- Alto consumo de gasolina. La forma de las cámaras alargadas no favorece la combustión, y el rendimiento es peor.<br>- Sustitución de sellos cada seis o siete años para conservar la estanqueidad del motor.<br>- Mantenimiento y materiales costosos.<br>- La sincronización de los distintos elementos debe ser muy buena. |

## Actividades finales

**1··** Si la relación en el número de dientes es de 33/22, en vez de 60/40, ¿varía la relación de vueltas entre el árbol y el rotor?

**2··** ¿Cuántos rodamientos o cojinetes son necesarios en un motor wankel de dos rotores?

**3··** Haz un dibujo de un motor de tres rotores, enumera las cámaras y obtén el orden de encendido.

**4··** ¿Cómo se lubrican las regletas o segmentos axiales del rotor? ¿Y los rodamientos y cojinetes?

**5··** ¿Qué puede ocurrir si se adelanta en exceso el encendido en un motor wankel?

**6··** ¿Que función realizan los patines? ¿Y las regletas?

**7··** ¿Cómo se refrigera el rotor de los motores rotativos? ¿Y el estator?

**8··** Busca en Internet si se ha fabricado algún motor rotativo diésel. ¿Se fabricó un prototipo o se fabricó en serie?

**9··** Busca diferentes formas que han adoptado los patines para conseguir mayor efectividad en la estanqueidad radial.

**10··** Si se sabe que la cilindrada total de un motor wankel birrotor es de 1 308 cc, y que la relación de compresión es de 9,8:1 obtén cuál debe ser el volumen de la cámara ($V_c$), y el rendimiento teórico del ciclo.

**11··** Averigua qué temperatura máxima se alcanza en el interior de las cámaras en los motores wankel y compárala con la de un motor alternativo. ¿En cuál se alcanza mayor temperatura? ¿Cómo se solucionan los problemas de calentamiento para que no haya fallos?

**12··** Compara un motor wankel con un motor otto de similar potencia, e indica las diferencias en cuanto a peso, máxima potencia, máximo par y consumo específico.

**13··** Si un motor rotativo tiene 5 vértices en el rotor y 4 lóbulos en el estator. ¿Cuál será la relación de dientes entre el piñón y la corona?

**14··** ¿Cuántas vueltas dará el árbol motriz por cada vuelta del rotor del motor que se ha descrito en la actividad anterior?

## Caso final

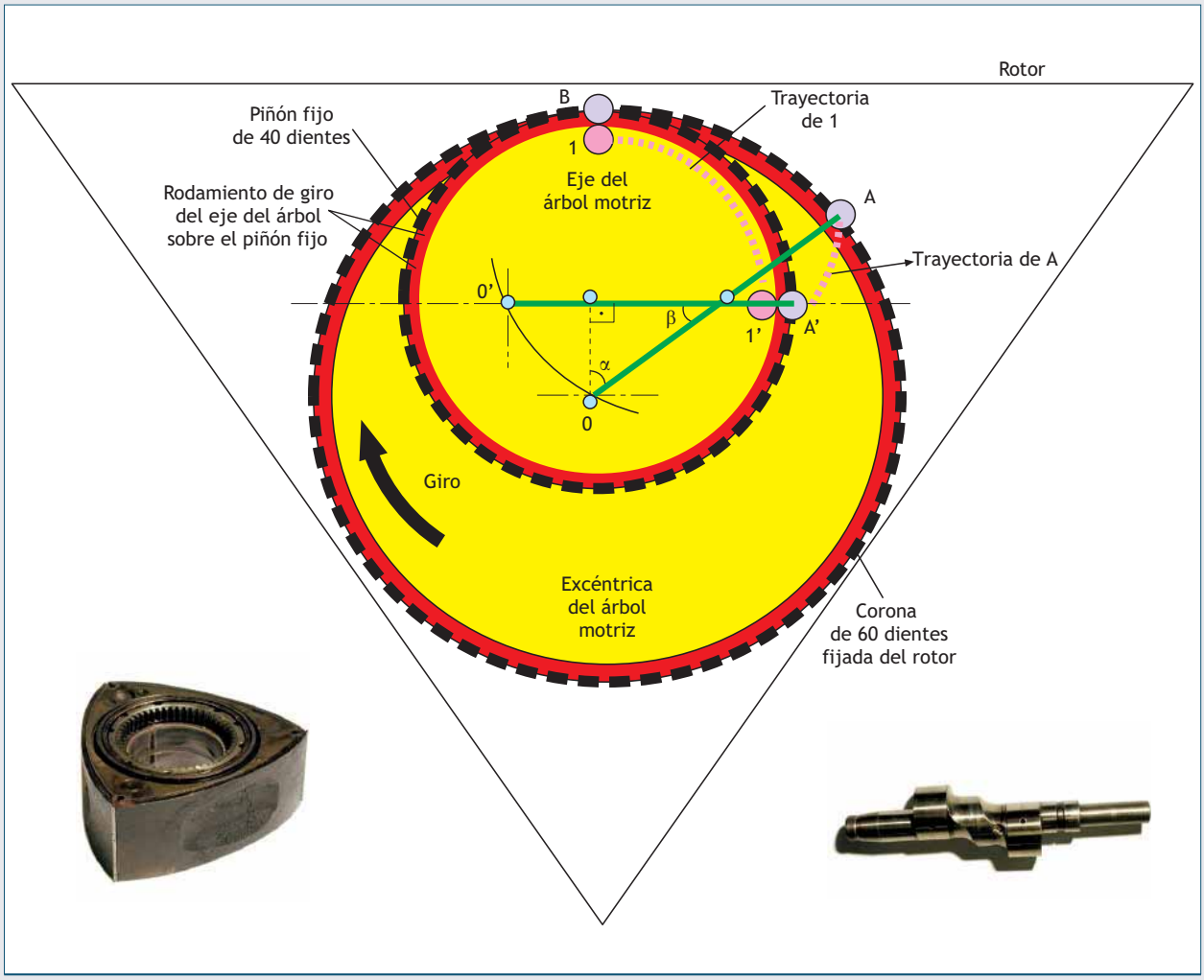
### Cálculo de la relación de giro

•• ¿Cómo es posible que el árbol motriz dé tres vueltas por cada una del rotor o corona, si la relación en el número de dientes corona/piñón no es de 3/1, sino de 3/2?

**Solución** •• La solución se contempla en la figura 16.23. Se ha tomado como ejemplo un conjunto corona/piñón de 60/40 dientes.

Cuando el eje del árbol y la excéntrica giran 90°, el punto 1 pasa a ocupar la posición 1´, y como la corona gira sobre el piñón (que no se mueve), el punto A deberá pasar a la posición A´.

En estas condiciones el árbol habrá girado 90° (de 1 hasta 1´) y la corona (o rotor) habrá girado el ángulo ß (desde A hasta A´). En este giro y debido a que la corona gira sobre el piñón, la cuerda de 1 hasta 1´ deberá ser igual a la cuerda desde B hasta A. En el movimiento, la línea imaginaria AO pasará a estar en la posición A´O´. El ángulo ß que forman estas dos líneas es el ángulo que gira el rotor cuando el árbol gira 90°.




**16.23.** Giro piñón-corona.

Como el árbol ha girado un cuarto de vuelta (90°), el número de dientes recorridos del piñón será de 1/4 · 40 = 10 dientes (arco 1-1´).

Como el arco 1-1´ debe ser igual al arco BA, resulta que el número de dientes del arco BA es de 10 dientes.

Si la corona gira 360° se recorren 60 dientes. Por lo que si el recorrido es de 10 dientes, el número de grados recorridos, que se corresponde con $\alpha$, será de 10/60 · 360 = 60°. (Ver quesito OAB).

Sabiendo que los ángulos de un triángulo (puntos azules) siempre suman 180°, se puede saber el valor de ß, que será 180 – 90 – 60 = 30°. Este es el ángulo que ha girado el rotor.

Por tanto, cuando el árbol gira 90°, el rotor gira 30°, lo que indica que el árbol gira el triple que el rotor y por lo tanto una vuelta del rotor equivale a tres vueltas del árbol motriz.

La relación del número de dientes del piñón y de la corona no se puede seleccionar arbitrariamente, porque dependen de la forma del estator. La configuración que hace posible que un vértice del rotor esté en continuo contacto con las paredes del estator es la siguiente: la relación del número de dientes entre corona y piñón debe ser igual a la que hay entre el número de vértices del rotor y el de lóbulos del estator.

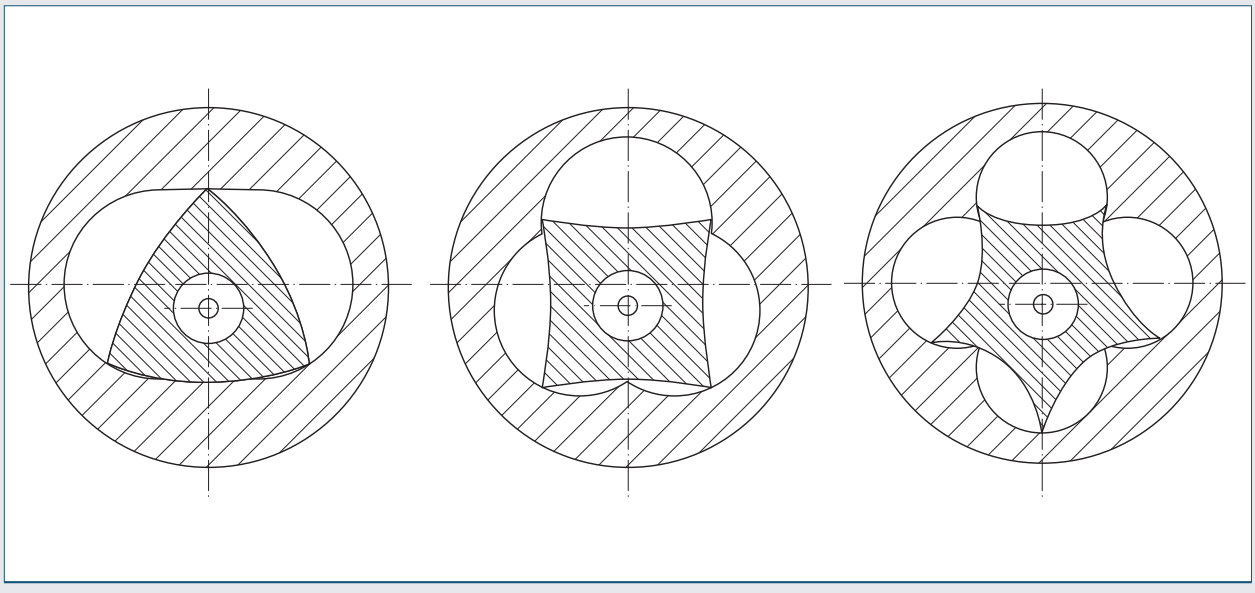
En el caso del motor wankel, se tiene:

- Número de lóbulos del estator = 2. El estator tiene forma de 8 y, por lo tanto, 2 lóbulos.
- Número de vértices del rotor = 3.

Por lo tanto la relación de dientes piñón/corona = 3:2.

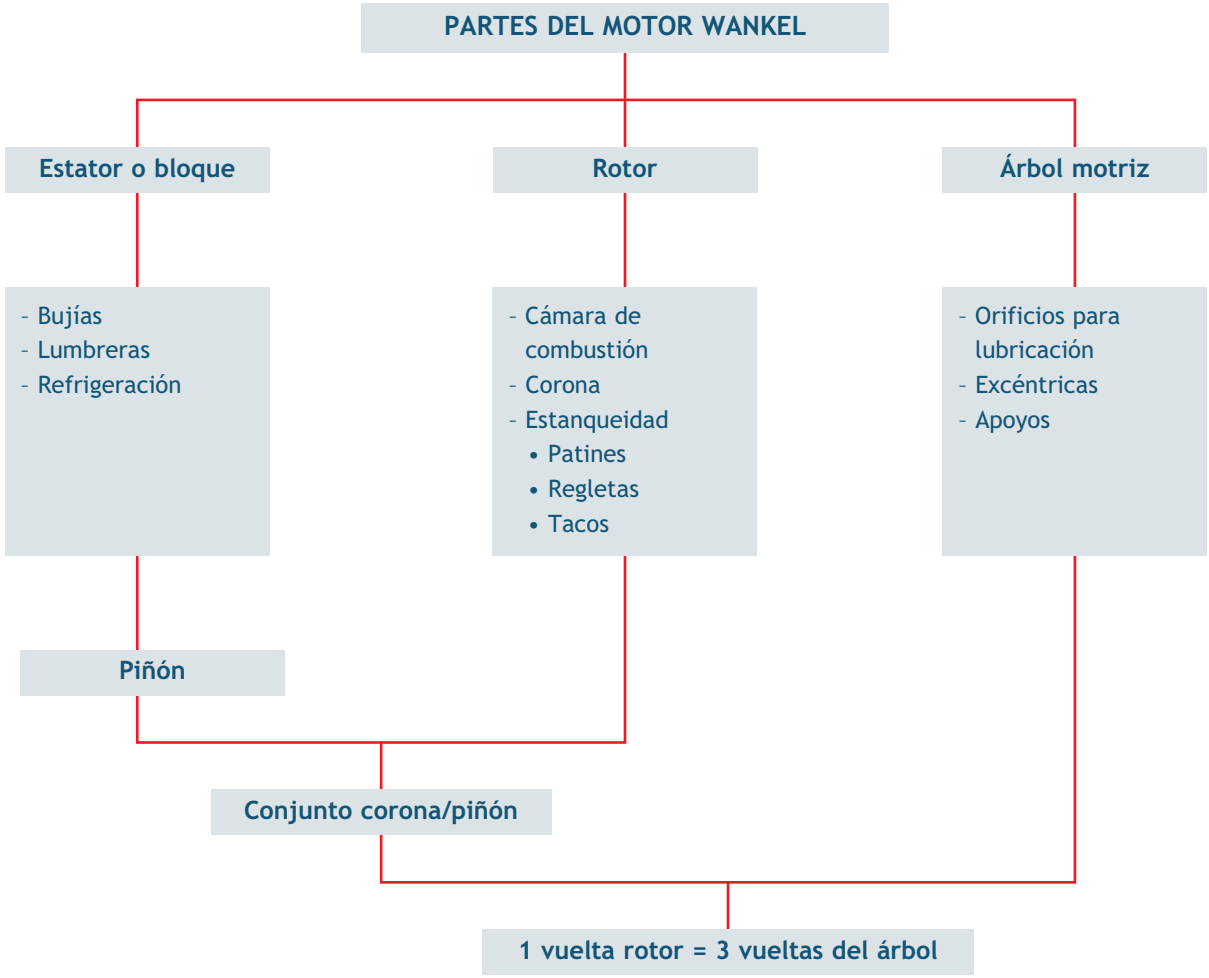
Si la relación de dientes fuera de 4:3, el número de vértices del rotor debería ser de 4 y el número de lóbulos del estator igual a 3. Por cada vuelta del rotor, el cigüeñal daría 4 vueltas.

En las siguientes figuras se muestran algunas de las posibles configuraciones que podría tener un motor rotativo:



**16.24.** Configuración del motor rotativo.

## Ideas clave


PARTES DEL MOTOR WANKEL
Estator o bloque
Rotor
Árbol motriz
- Bujías
- Lumbreras
- Refrigeración
- Cámara de combustión
- Corona
- Estanqueidad
• Patines
• Regletas
• Tacos
- Orificios para lubricación
- Excéntricas
- Apoyos
Piñón
Conjunto corona/piñón
1 vuelta rotor = 3 vueltas del árbol

# EVOLUCIONANDO HACIA EL HIDRÓGENO

Mazda ha querido acortar distancias entre el automóvil actual y el alimentado por hidrógeno poniendo a punto una versión de su motor rotativo **Rénesis** para que pueda funcionar indistintamente con hidrógeno o con gasolina normal.

Se homologaron y montaron en el RX-8 cuatro unidades en el año 2004. Se le denominó RX8 Hydrogen RE. Las cuatro unidades se cedieron a empresas y agencias del gobierno japonés, con el fin de poder hacer un seguimiento de estos coches. No es la primera vez que Mazda experimenta con motores de hidrógeno. Su primer proyecto en este área fue hacer que el motor rotativo funcionara con hidrógeno, cosa que logró por primera vez en 1991, año en que presentó el prototipo HR-2.

Los motores de tipo rotativo se adaptan al empleo de carburantes alternativos como el hidrógeno mejor que los tradicionales de pistones alternativos, por el hecho de que cada una de las cuatro fases de su funcionamiento tiene lugar en cámaras diferentes. Esto hace que las temperaturas sean menores, eliminando el riesgo de la autodetonación que en caso del hidrógeno resulta fácil que se produzca, dado su alto poder de ignición. El motor rotativo no suele dar problemas de autoencendido, pues la cámara de combustión presenta una geometría adecuada para la combustión del hidrógeno, es decir, su relación volumen/superficie es muy elevada.

El hidrógeno llega en estado gaseoso a cada uno de los dos rotores de los que se compone el motor Rénesis, a través de dos inyectores electrónicamente controlados, para asegurar un suficiente llenado de combustible del motor. Pese a ello, la potencia del motor cuando funciona con hidrógeno se ve muy reducida. De 207 caballos que desarrolla con gasolina, desciende a 109.

Se está investigando la posibilidad de incluir agua pulverizada en la mezcla de entrada, la cual se evapora al quemarse el hidrógeno, llegando a ejercer presiones muy altas de forma elástica. De esta forma, se intentaría conseguir que la mayor parte de la potencia se deba a la acción del vapor de agua y no al hidrógeno.

Con la capacidad del depósito de hidrógeno a 350 bares, el coche tiene una autonomía de unos 100 kilómetros, además de los 550 kilómetros que proporcionan los 61 litros del depósito de gasolina, inalterado respecto a la versión normal del RX8. A lo largo de los 100 kilómetros que se recorren con hidrógeno, el coche no emite dióxido de carbono ($CO_2$) y sólo una pequeña cantidad de óxido nitroso ($NO_x$).

Mazda reconoce el problema de pérdida de potencia al pasar a hidrógeno, y están pensando en dotar al motor Rénesis de algún tipo de compresor, turbo o mecánico, para evitar que la pérdida de potencia sea tan importante. Tambien están barajando la posibilidad de incrementar la presión de las bombonas, y de combinar el propulsor hidrógeno-gasolina con una tecnología híbrida, que permita utilizar la recuperación de energía en retención del motor y frenado para impulsar el coche, con lo que su autonomía se podría multiplicar por 2,5 y, además, siempre quedaría la posibilidad de continuar el camino gracias a la gasolina.

**Sergio Picione**
**www.elmundomotor.es**
**septiembre 2006**

unidad 17

# Motores diésel en vehículos industriales y maquinaria

## SUMARIO

- El motor industrial
- Clasificación de motores diésel industriales
- Partes y sistemas del motor diésel industrial

## OBJETIVOS

- Conocer los motores para vehículos industriales y maquinaria.
- Diferenciar los motores diésel según sus características.
- Aprender los diferentes componentes del motor diésel pesado.
- Comprender las diferencias técnicas de los componentes del motor diésel pesado.
- Familiarizarse con la terminología utilizada para referirse a las piezas y el funcionamiento del motor diésel pesado.

## 1 >> Nacimiento del motor diésel pesado

Todo empezó en 1892, cuando se le otorgó a Rudolf Diesel una patente de un nuevo tipo de motor que debía rendir más que cualquiera de los motores conocidos hasta entonces. Este motor se propulsaba con un combustible más económico que la gasolina y con menor consumo.

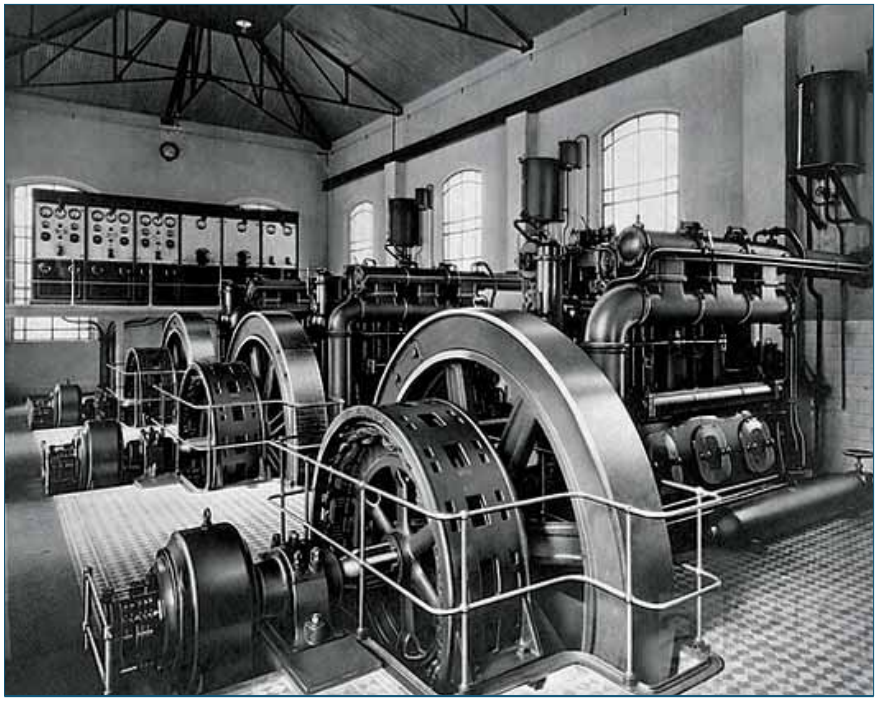
La primera máquina de combustión por autoencendido del mundo, genial invento de Rudolf Diesel, ha demostrado ser el **motor del progreso móvil** en el más estricto sentido de la palabra. Sin embargo, los primeros motores construidos por Diesel tenían ciertos problemas y no desarrollaban suficiente potencia. Eran excesivamente grandes y no estaban diseñados para ser montados en vehículos. Se utilizaban en la industria para impulsar generadores y bombas o servir como centrales motrices.

Desde entonces se han realizado grandes esfuerzos de investigación y desarrollo para llevar el motor diésel a los magníficos niveles actuales de rendimiento y seguridad en el funcionamiento.

El motor diésel pesado, diseñado para vehículos industriales y maquinaria, ha hecho valer las ventajas derivadas de sus principios. Todas ellas son características muy valoradas en la actualidad:

– Elevado rendimiento.
– Bajo consumo de combustible.
– Gran fiabilidad.
– Larga duración.

Los primeros motores diésel para automóviles fueron construidos para vehículos pesados como camiones, tractores o maquinaria industrial.



**17.1.** Motor diésel de 3 cilindros creado por Franco Tosi en el año 1920.

### El primer motor diésel

El primer motor diésel era monocilíndrico y contaba con un gran volante de inercia. El diámetro del cilindro medía 220 mm, su carrera de 400 mm y tenía una altura de 3 m.

### El vehículo más grande del mundo

El record de mayor tamaño en el mundo de los automóviles lo tiene el camión Liebherr T232 B. Este vehículo se utiliza principalmente en la explotación de minas a cielo abierto.

Algunas de sus medidas son:

- Altura: 7,84 m
- Longitud: 15 m
- Ancho: 8,99 m
- Carga máxima: 360 toneladas
- Peso en vacío: 203 toneladas
- Altura con el volquete levantado: 14,90 m
- Capacidad del depósito de combustible: 4 732 l
- Velocidad máxima: 64 km/h

### El motor híbrido en el camión

El camión Liebherr T232 B utiliza un sistema híbrido, que aprovecha el funcionamiento del motor diésel para generar electricidad y así funciona también su motor eléctrico.

Los datos de su motor térmico diésel son:

- Número de cilindros: 20
- Potencia: 3 650 CV
- Cilindrada: 90 000 $cm^3$
- Peso del motor: 10 toneladas
- Llenar su depósito: 4 600 euros

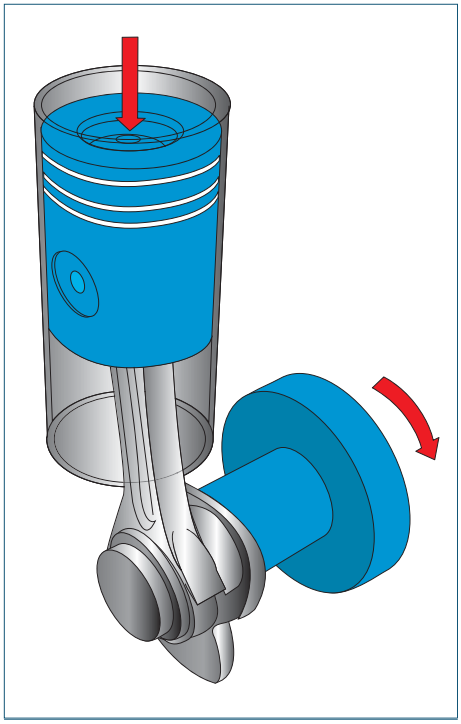
## 2 >> Misión del motor térmico industrial

**El motor del vehículo industrial y pesado es el encargado de transformar la energía química del combustible en energía térmica y, posteriormente, en energía mecánica que es utilizada por el vehículo para realizar un trabajo.**

Estos motores son de combustión interna. Realizan la transformación de la energía en el interior del cilindro, en la **cámara de combustión**. La aportación de calor producido al quemarse el combustible y la presión de los gases de la combustión provocan el desplazamiento del pistón que, a través de la biela y el cigüeñal, se transforma en energía mecánica útil.

Este principio es el utilizado en todos los motores térmicos estudiados (figura 17.3).

**17.2.** Motor MAN de 10 cilindros en V y 660 CV.



**17.3.** Transformación del movimiento lineal del pistón en movimiento rotativo en el cigüeñal.

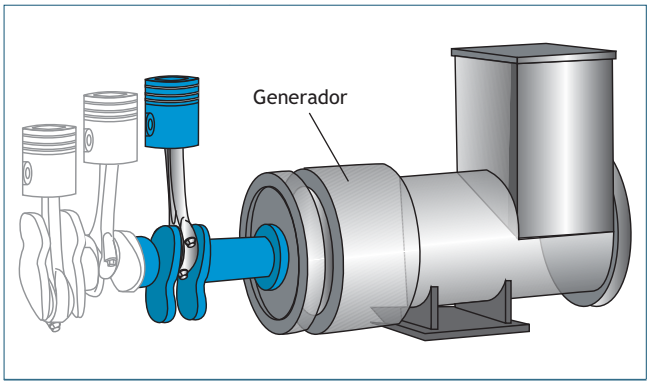
### 2.1 > Clasificación de los motores diésel pesados

Los motores diésel pesados de combustión interna se pueden clasificar dependiendo de varios criterios, como pueden ser sus características técnicas, el uso para el que han sido creados o de funcionamiento. A continuación se presenta una clasificación de estos motores:

– Dependiendo del **uso para el que han sido creados**, pueden ser:

- **Motores estacionarios.** Cuando el motor se utiliza para trabajos en lugares fijos, como pueden ser los generadores de corriente (figura 17.4). Si el motor hace funcionar una estación de trabajo, el cigüeñal va directamente acoplado a la misma (figura 17.5).

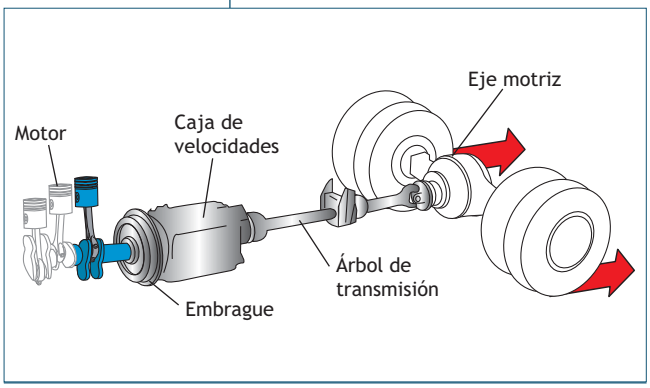
**17.4.** Motor estacionario.




**17.5.** Instalación de un motogenerador.

- **Motores para ser instalados en vehículos industriales** (figura 17.6). En estos casos, el par del cigüeñal pasa a las ruedas motrices a través de los órganos de la transmisión. Esta transmisión de movimiento es conocida como **cadena cinemática** (figura 17.7).

**17.6.** Motopropulsor en vehículo industrial.




**17.7.** Cadena cinemática en V.

– Según el **tipo de vehículo** en el que van montados, pueden ser:

- **Montados en vehículos de transporte.** Son motores más ligeros y compactos; y funcionan a mayor régimen de revoluciones. Son utilizados para camiones y autobuses.

**17.8.** Vehículo de transporte en carretera.

**17.9.** Motor horizontal para autobús.

- **Montados en vehículos de arrastre.** Son más robustos y trabajan a menor número de revoluciones. Su principal ventaja es el gran número de horas que aguantan en funcionamiento.

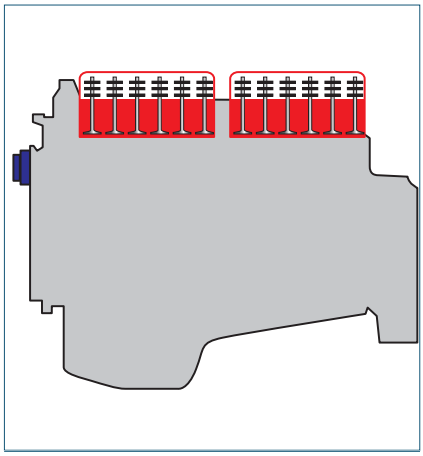
**17.10.** Bulldozer (Wheel Dozers) de arrastre de tierras.

**17.11.** Motor de vehículo de arrastre.

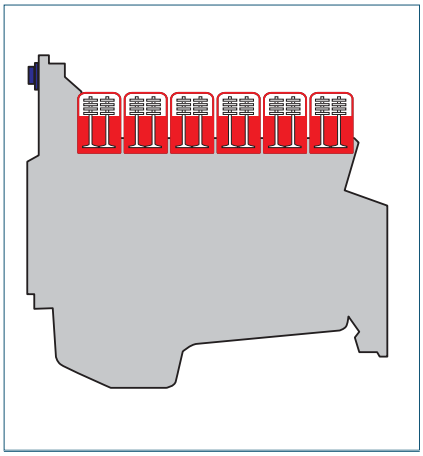
**17.12.** Motor SCANIA de 8 cilindros en V.

– **Según la disposición de los cilindros.** En motores utilizados en vehículos industriales se disponen los cilindros principalmente en línea o en V, prevaleciendo los motores en línea a consecuencia de una serie de ventajas técnicas.
– **Según el tipo de culata y número de válvulas por cilindro.** La culata de los vehículos industriales puede ser:
  - Individual, para cubrir cada una un cilindro. En este caso se denominan *culatines* (figura 17.13), y es la alternativa más utilizada por los fabricantes.
  - De una sola pieza, cubriendo todos los cilindros.
  - De dos piezas, cubriendo tres cilindros cada una (figura 17.14).
  - De tres piezas, cubriendo dos cilindros cada una.

**17.13.** Culatín de cuatro válvulas.



**17.14.** Motor de culatas para 3 cilindros.

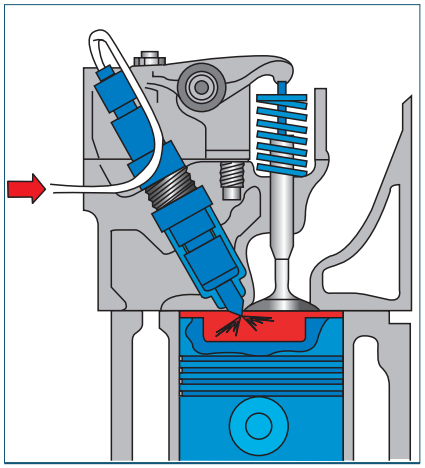


**17.15.** Motor de culatas individuales.

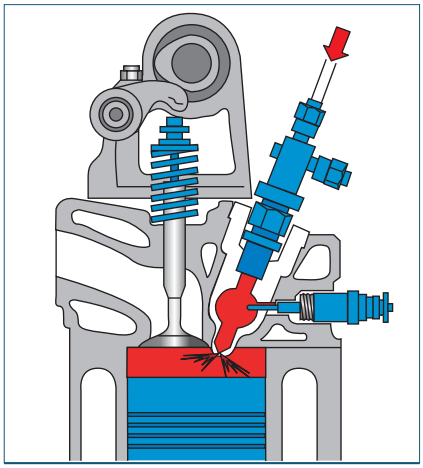
En cuanto a las válvulas, lo más frecuente son motores que usan 2 ó 4 válvulas por cilindro.

– **Tipos de motores según la inyección.** El combustible se puede inyectar bien directamente en la cámara de combustión o bien en una antecámara contigua a la cámara de explosión. Dependiendo de la opción elegida, podemos hablar de:

  • **Motores de inyección directa.** El inyector lanza el chorro de combustible directamente en la cámara de combustión. Son los más utilizados en la actualidad por el sector industrial (figura 17.16).



**17.16.** Motor de inyección directa.



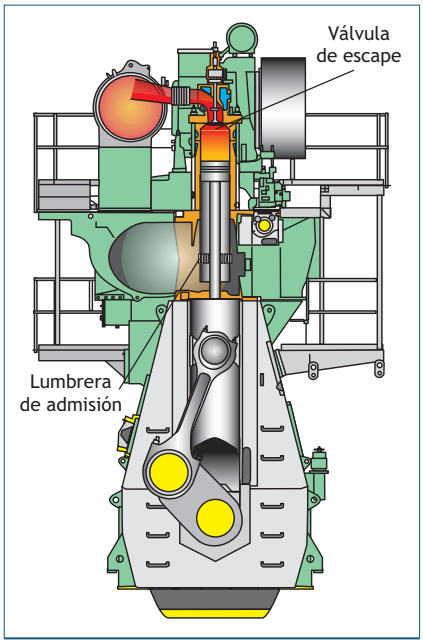
**17.17.** Motor de inyección en precámara.

  • **Motores de inyección indirecta con cámara de precombustión.** Se inyecta el gasóleo en una precámara, que tiene un tamaño aproximado del 25% de la cámara de combustión (figura 17.17).

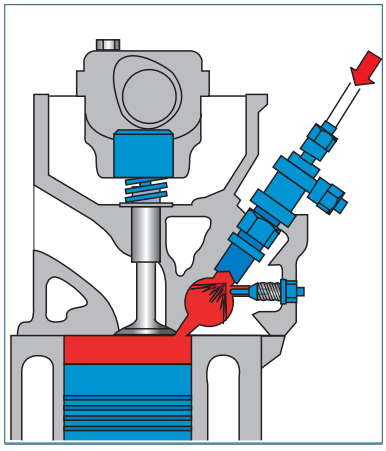
  • **Motores de inyección indirecta con cámara de turbulencia.** Se inyecta el combustible en la cámara de turbulencia, que tiene un mayor volumen que la precámara (figura 17.18).

– **Según los tiempos en un ciclo de trabajo.** En función del número de carreras que realiza el pistón por cada ciclo de trabajo pueden ser:

  • **Motores de dos tiempos.** El pistón completa un ciclo de trabajo en dos carreras, desde el PMS al PMI y desde el PMI al PMS, y el cigüeñal gira una vuelta. Estos motores se utilizan principalmente en los barcos y en motores estacionarios (figura 17.19).




**17.19.** Sección de un motor marino de dos tiempos diésel.



**17.18.** Motor de inyección en cámara de turbulencia.

### Diferencia constructiva entre inyección directa e indirecta

La culata de los motores diésel de inyección indirecta es mucho más compleja, pero los sistemas de inyección que emplean los motores diésel de inyección directa son más precisos y delicados al tener que elevar la presión de inyección a varios Mpa (2 000 bares).

**17.20.** Camisa de un dos tiempos.

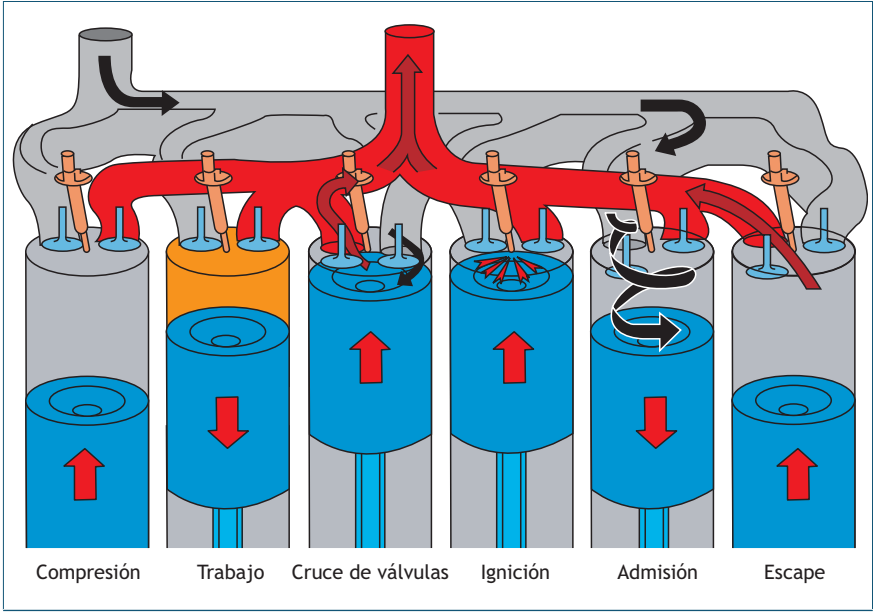
### Número de igniciones por minuto en un motor de 6 cilindros

En un motor de 6 cilindros y cuatro tiempos girando a 2 000 rpm, se producen 6 000 combustiones al minuto, es decir, 100 por segundo.

### Duración del motor diésel pesado

Al emplearse en vehículos pesados que necesitan una elevada potencia lograda a base de grandes cilindradas, requieren un consumo específico lo más bajo posible. La amortización es uno de los factores primordiales, que ha llevado al diseño y construcción de grandes y robustos motores capaces de funcionar durante largos periodos de tiempo.

- **Motores de cuatro tiempos.** El pistón completa un ciclo de trabajo en cuatro carreras, dos descendentes y dos ascendentes, y el cigüeñal gira dos vueltas. Son los motores que más se utilizan en los vehículos industriales.




**17.21.** Ciclos en el motor de cuatro tiempos y 6 cilindros.

En los motores diésel industriales de 6 cilindros y 4 tiempos, la ignición y el trabajo tienen lugar en un orden determinado, conocido como **orden de ignición**.

En los motores de 6 cilindros en línea, generalmente el orden es:

1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4

## Actividades propuestas

1·· Localiza en tu entorno o busca en Internet diez vehículos o máquinas industriales que incorporen motores diésel de gran cilindrada.

Una vez localizados, recopila toda la información que sea posible sobre:

- Tipos de trabajos que realizan.
- Número de horas que trabajan al día.
- Número medio de horas que trabajan durante su vida útil.
- Mantenimiento básico que necesitan.
- Averías más frecuentes que pueden sufrir.

2·· Compara el funcionamiento de un motor de gasolina para un turismo y un motor diésel industrial y determina cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas y cuáles son propias del motor diésel industrial:

- En el motor diésel industrial se alcanza una elevada presión de compresión.
- Un motor de gasolina inyecta una mezcla preparada previamente de aire y gasolina.
- El motor diésel industrial trabaja a mayor presión de inyección que el de gasolina.
- El sistema de inyección en el motor diésel industrial actual está gestionado electrónicamente.

## 3 >> Elementos constructivos del motor diésel industrial

Aunque las piezas principales de este tipo de motores son de características constructivas diferentes a otro tipo de motores debido, fundamentalmente, al gran esfuerzo al que están sometidos, la construcción de un motor diésel industrial es similar a la de un motor diésel ligero para turismo e incluso a la de un motor de gasolina.

Las principales diferencias del motor industrial diésel con el resto de motores son:

– Su mayor robustez.
– Su enorme precisión.
– Su alto rendimiento.

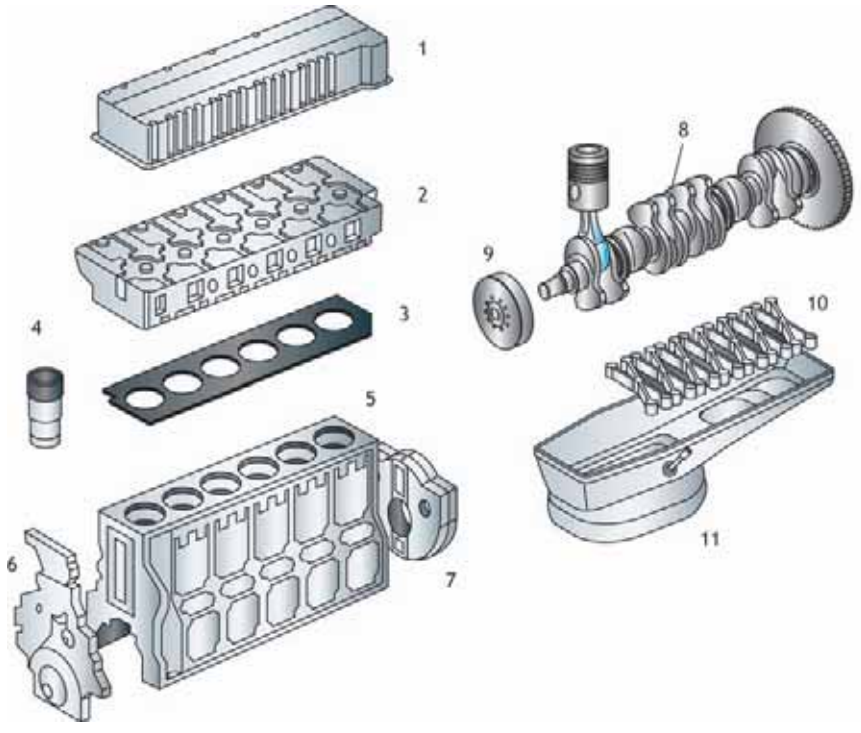
| Robustez | Precisión | Rendimiento |
|---|---|---|
| Los componentes deben ser robustos y se fabrican con materiales de gran resistencia para soportar enormes esfuerzos mecánicos. Esto hace que las piezas tengan mayor coste de fabricación. | Para el correcto funcionamiento de este tipo de motores tan pesados es fundamental que todos sus componentes realicen su trabajo de forma precisa, para que el motor marche de forma segura, eficaz y fiable. | El motor diésel industrial tiene un alto coeficiente de rendimiento, del 43 al 44% en motores de camión y autobuses. Los motores diésel para turismos presentan un rendimiento ligeramente inferior, aproximadamente un 36%. |

### ¿Por qué arrancan mal los motores de inyección indirecta?

En los motores de inyección indirecta la elevada turbulencia del aire existente en la precámara favorece el intercambio térmico con las paredes de la culata, reduciendo la temperatura interior del aire, que no llega a alcanzar la temperatura de inflamación del gasoil; todo esto hace necesario la instalación de bujías de precalentamiento para el arranque en frío.

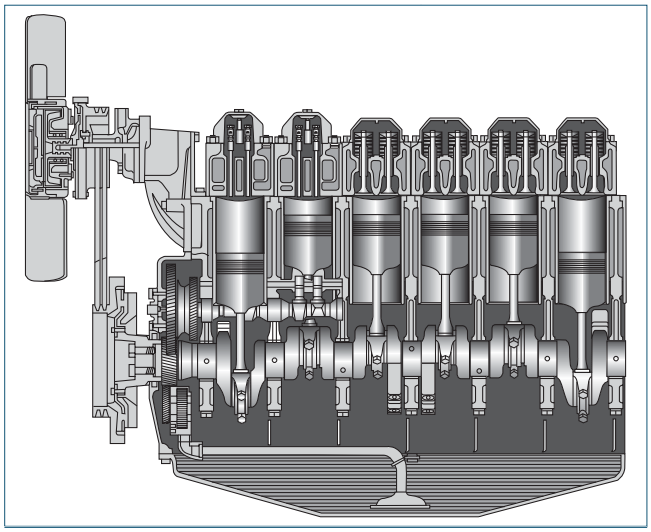
### El motor más potente del mundo

Se trata de un Wartsila-Sulzer RTA96-C. Su versión más grande es un 14 cilindros en línea; turbodiésel de dos tiempos, con una cilindrada de 25 480 litros, una potencia de 108 920 caballos y un par de 7,6 millones de Newton·metro a 102 rpm. Pesa 2 086 toneladas y consume 6 000 litros de gasóleo a la hora.




1 Tapa de válvulas
2 Culata
3 Junta de culata
4 Camisa
5 Bloque
6 Tapa de distribución
7 Tapa de volante motor
8 Tren alternativo
9 Amortiguador de vibraciones «damper»
10 Bancada inferior «tapa de refuerzo»
11 Cárter de aceite

**17.22.** Principales elementos constructivos del motor diésel industrial.



**17.23.** Sección longitudinal de un motor diésel industrial de 6 cilindros en línea.

**17.24.** Motor IVECO de 6 cilindros en línea para vehículo industrial.

## 3.1 > Elementos fijos

En el motor diésel industrial podemos destacar los siguientes elementos fijos:

– Bloque.
– Culata.
– Cárter.

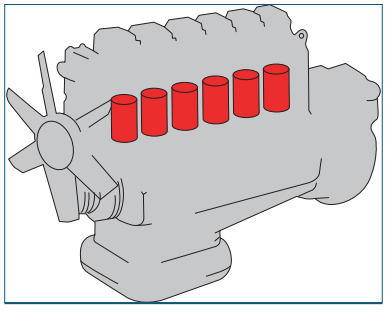
### Bloque

El bloque motor está generalmente fundido en una sola pieza, siendo esta fundición de una aleación especial. En el interior del bloque hay una serie de nervaduras o refuerzos diseñados para obtener mayor estabilidad e impedir cambios de estructura en el mismo. Las vibraciones del bloque son mínimas contribuyendo de este modo al funcionamiento silencioso del motor.

Los bloques de los motores industriales se construyen principalmente de dos formas:

– **Con los cilindros en línea recta, bloque en línea o motor recto** (figura 17.27). Esta es la configuración más habitual con 6 cilindros. Existen ciertas características técnicas para elegir esta construcción: la configuración de 6 cilindros en línea es una construcción muy fiable para moto-

**17.25.** Máquina con motor de 6 cilindros en línea.



**17.26.** Configuración de un motor de cilindros en línea.

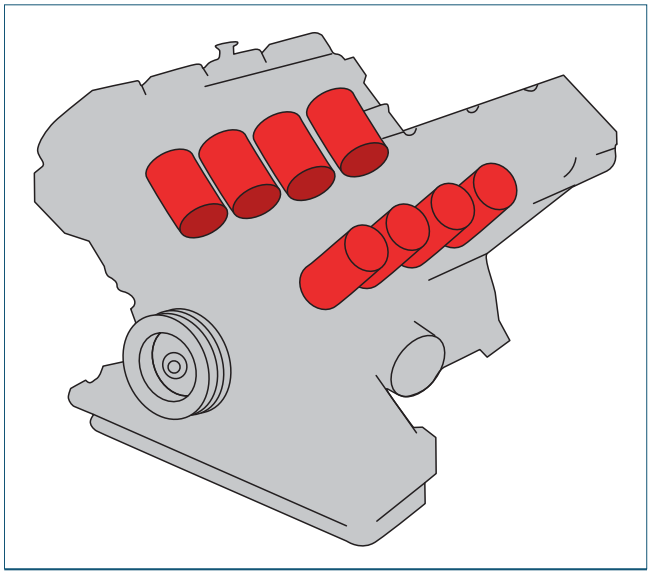
**17.27.** Bloque motor con clilidros en línea.

res de gran cilindrada. Este tipo de motor es sencillo y su funcionamiento es muy equilibrado, lo que contribuye a una larga vida de servicio y a un funcionamiento silencioso y uniforme. El mantenimiento de estos motores es sencillo.

– **Con los cilindros dispuestos en V, bloque motor en V** (figura 17.28). Es más compacto, más corto y gira a mayor número de revoluciones que los motores con los cilindros en línea, aunque presenta una serie de inconvenientes técnicos: en un motor de 8 cilindros en V, el cigüeñal no lleva más de cinco cojinetes de apoyos, mientras que en el de 6 cilindros en línea los apoyos son 7. Las bielas atacan al cigüeñal de dos en dos, siendo la superficie de apoyo del cigüeñal muy pequeña. El mantenimiento es más difícil y costoso al ir los componentes entre los dos bloques de cilindros.

### Perfil cónico del cilindro

La parte superior interna del cilindro en algunos motores diésel industriales presenta un perfil cónico de mayor diámetro que el resto del cilindro. Esta configuración evita la formación de carbonilla en la cabeza del pistón.



**17.28.** Configuración de un motor de cilindros en V.

**17.29.** Bloque motor con cilindros en V.

Los cilindros más utilizados en los bloques para motores diésel industriales son del tipo «camisas húmedas». Las ventajas de este tipo de camisas, que se encuentran separadas del bloque, son:

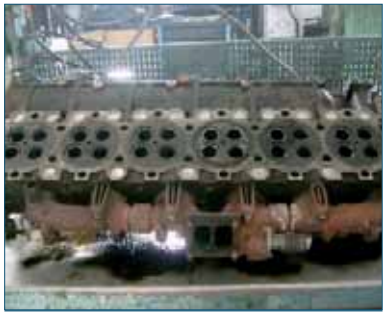
– Se puede seleccionar el tipo de material más apropiado para la camisa.
– Las camisas de cilindro son reemplazables, lo que resulta de gran ahorro a la hora de hacer una reparación del motor.
– La pared interna del cilindro se fabrica en serie con mucha precisión, y presenta una superficie finamente estriada para mantener una fina película de aceite en todo el cilindro.

**17.30.** Camisa húmeda para motor diésel.

## Culata

Las culatas son de fundición aleada, buscando siempre un material que pueda resistir los enormes esfuerzos que sufre como consecuencia del proceso de combustión de estos motores, los cuales trabajan en condiciones extremas, con presiones y temperaturas muy elevadas.

La culata puede cubrir uno o más cilindros.



**17.31.** Culata única para todos los cilindros.

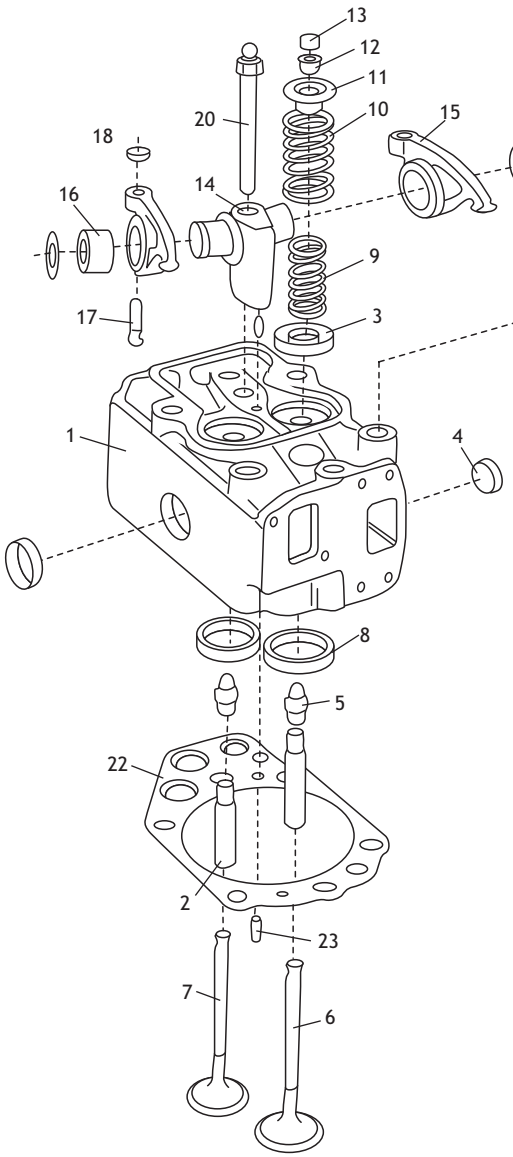
**17.32.** Culata para tres cilindros.

**17.33.** Culatines individuales.

### ¿Por qué suena más el motor diésel pesado?

La combustión del gasóleo no es instantánea al entrar en la cámara de combustión; se necesita comprimir mucho el aire para que alcance los 800 °C y el gasoil combustione, especialmente en frío. El gasóleo líquido no arde y cuando se gasifica roba parte del calor del aire, enfriando la masa de aire. En consecuencia, hay una acumulación de combustible que no se quema hasta un determinado momento. En ese momento se quema instantáneamente y por ese motivo la combustión es tan brusca: la onda expansiva choca contra el pistón y produce el ruido característico del motor diésel pesado.

**17.35.** Junta para los culatines.




1. Culata
2. Guía de válvula
3. Asiento de válvula
4. Tapón de expansión
5. Retén de válvula
6. Válvula de admisión
7. Válvula de escape
8. Asiento de válvula
9. Muelle antirrebote
10. Muelle principal
11. Cazoleta
12. Chavetas
13. Tapón del vástago
14. Soporte del balancín
15. Balancín
16. Cojinete
17. Tornillo de ajuste balancín
18. Tuerca exagonal
19. Retén
20. Tornillo sujeción balancín
21. Perno sujeción culata
22. Junta de culata
23. Pasador centrador

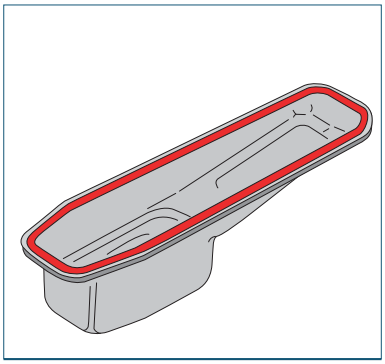
**17.34.** Despiece de un culatín de dos válvulas.

### Cárter

El cárter de aceite se elabora con chapa de acero o aleaciones de aluminio y dispone de una serie de aletas exteriores para la refrigeración del aceite (figura 17.36). Algunos cárteres llevan una placa laminada, ideada para reducir el nivel de ruido del motor.

El cárter se sujeta al bloque de cilindros interponiendo una junta hermética que lo aísla del bloque insonorizando el motor. Algunos vehículos destinados a realizar trabajos pesados en terrenos inclinados deben tener el cárter lo suficientemente profundo en toda la longitud para garantizar el nivel de aceite. En algunas ocasiones es necesaria una bomba de aceite especial. Si el motor se ha de instalar en horizontal como, por ejemplo, en un autobús, el aceite se almacena en un depósito separado del motor y una bomba aspira el aceite desde el mismo. Este tipo de cárter es denominado **cárter seco**, ya que solo contiene pequeñas cantidades de aceite.

**17.36.** Cárter de aceite de aleación.



**17.37.** Cárter con junta de estanqueidad aislante.

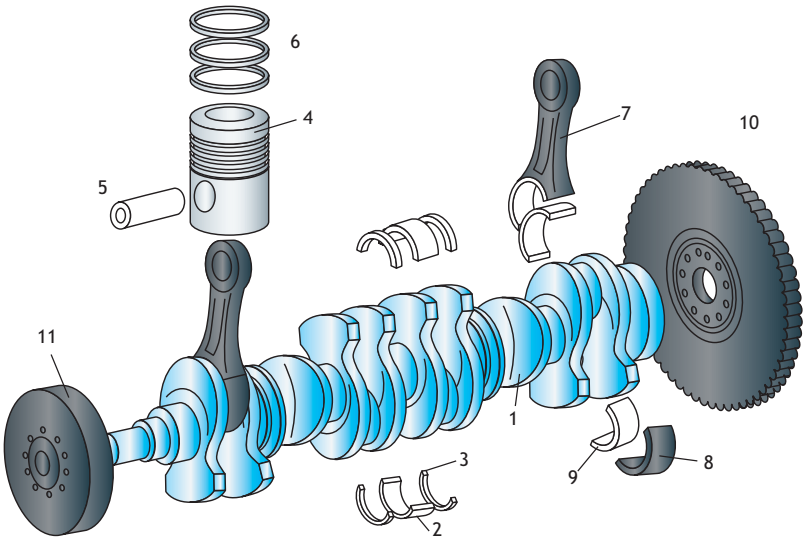
## 3.2 > Elementos móviles

Entre los elementos móviles de motor diésel pesado destacan el tren alternativo con todas sus partes, como el cigüeñal, pistón, bulón y segmentos, etc. y el sistema de distribución.

### Tren alternativo

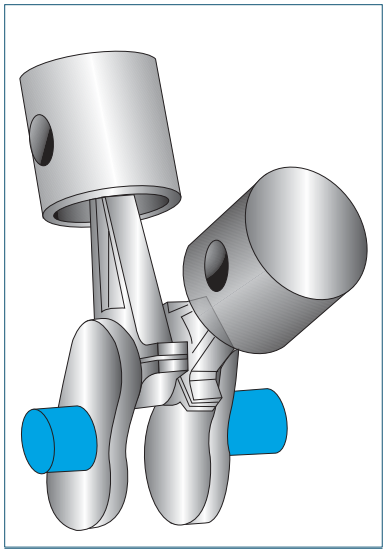
El mecanismo del tren alternativo engloba el cigüeñal y los componentes que van unidos a él (figura 17.38):

– Cigüeñal y cojinetes.
– Pistón.
– Bulón y segmentos.
– Bielas y casquillos.
– Volante motor.
– Amortiguador de vibraciones *damper*.




1 Cigüeñal
2 Cojinetes de apoyo
3 Cojinetes axiales
4 Pistón
5 Bulón
6 Segmentos
7 Bielas
8 Sombreretes
9 Casquillos
10 Volante
11 Amortiguador de vibraciones damper

**17.38.** Elementos que integran el tren alternativo del motor diésel industrial.



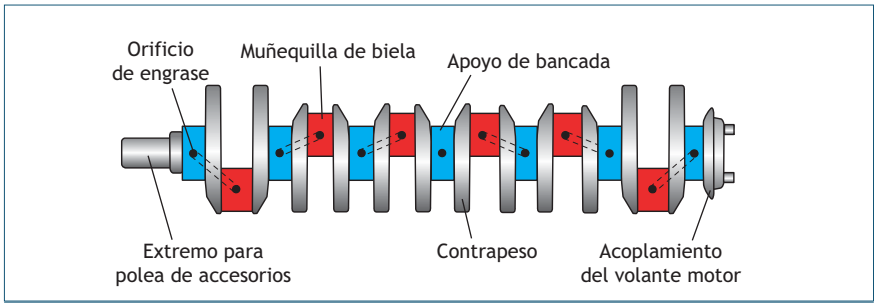
**17.39.** Disposición de las bielas en el cigüeñal para motor en V.

## El cigüeñal

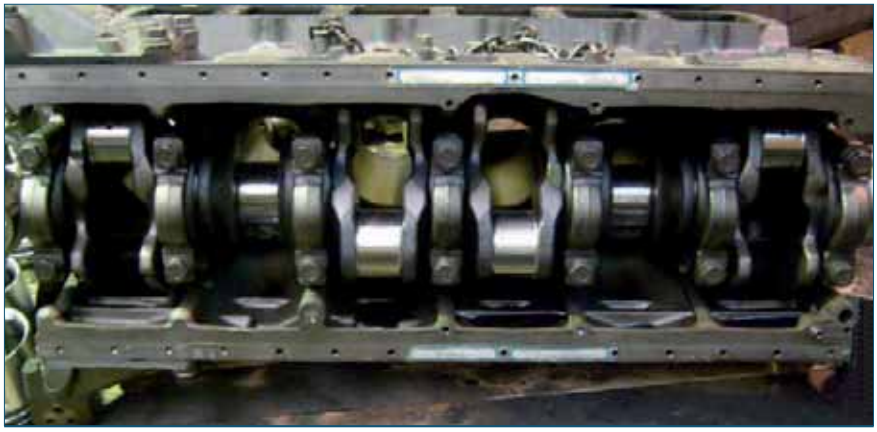
El cigüeñal tiene que estar perfectamente equilibrado, pues sufre esfuerzos enormes. Por esta razón se le exigen unas normas de calidad muy estrictas tanto en el material como en el diseño y en el equilibrado. Se fabrica de acero templado, requiriendo una serie de tratamientos térmicos especiales.

El cigüeñal está sometido a fuerzas centrífugas al girar, y como consecuencia de estas fuerzas sufre oscilaciones y vibraciones que pueden provocar su rotura. Con el fin de contrarrestar las oscilaciones se instala el amortiguador de vibraciones en el extremo del cigüeñal.

La forma del cigüeñal depende de los factores de diseño propios de cada motor: número de cilindros, disposición en línea o en V y número de apoyos (figuras 17.39, 17.40, 17.41 y 17.42).




**17.40.** Diseño del cigüeñal para motor de 6 cilindros en línea.



**17.41.** Bancada con 7 apoyos del cigüeñal para 6 cilindros.

**17.42.** Cigüeñal para motor de 8 cilindros en V.

### Datos de la carga que soporta el cigüeñal en un motor diésel pesado

La combustión del gasoil en el cilindro produce un incremento de presión que actúa sobre el mecanismo del tren alternativo, sometiendo al cigüeñal a cargas enormes. En un motor diésel pesado se pueden alcanzar presiones superiores a 15 000 Kpa. Estas presiones son aplicadas a la superficie del pistón, transmitiendo la biela una fuerza al cigüeñal de aproximadamente 150 KN, unas 15 toneladas. Equivaldría al peso de 10 coches sobre la cabeza del pistón.

Existen ciertas razones técnicas por las que la gran mayoría de fabricantes de motores pesados eligen la construcción de motores en línea, generalmente de 6 cilindros para mecánicas comunes.

La principal diferencia entre un cigüeñal de un motor de 6 cilindros en línea y un cigüeñal de un motor de 8 cilindros en V es que el motor en línea lleva 7 apoyos de bancada, mientras que el cigüeñal del motor en V lleva 5 apoyos. Las bielas atacan al mismo codo del cigüeñal de dos en dos, siendo la superficie de apoyo del cigüeñal pequeña.

## El pistón

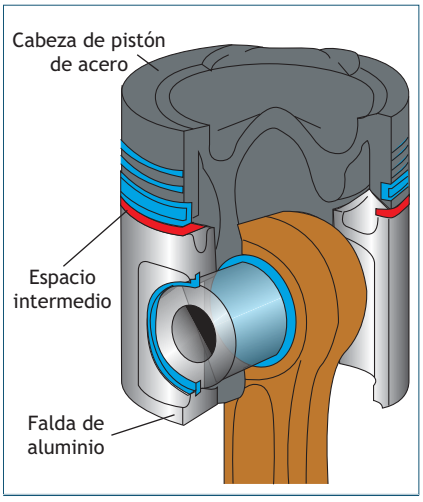
El pistón se fabrica en una aleación de aluminio que lo hace muy resistente y ligero, y permite que se dilate muy poco y que disipe el calor fácilmente. El grosor del material en la cabeza del pistón y en la zona de los segmentos es mayor que en el resto del pistón, para que este pueda resistir las altas presiones y temperaturas de la cámara de combustión.

Un receso en la cabeza del pistón proporciona el hueco necesario para que se produzca la explosión en la cámara de combustión.

Por lo general, el pistón tiene dos segmentos de compresión que sellan el espacio existente entre el pistón y el cilindro y facilitan que se disipe el calor del pistón. El segmento superior está expuesto a una temperatura y presión superior que el inferior. Las tensiones a las que se somete a la ranura del pistón son particularmente altas, por lo que para reducir el desgaste se forja dicha ranura en acero.

Aparte cuenta con un segmento rascador que impide que el aceite del cárter llegue a la cámara de combustión.

En algunos motores diésel pesados se utilizan los llamados **pistones articulados** (figuras 17.45 y 17.46). Las dos partes van apoyadas por separado en el eje del pistón o bulón. Entre la cabeza del pistón de acero y la falda de aluminio hay un pequeño espacio intermedio para evitar transferencias de calor. Esta construcción facilita mantener una temperatura más alta en la cámara de combustión que mejora el rendimiento de este tipo de motores.




**17.45.** Montaje de pistones articulados.

**17.46.** Pistón articulado IPD Steel para motor Caterpillar 3114/3116.

**17.43.** Fractura de cigüeñal.

**17.44.** Conjunto biela pistón.

### Refrigeración del pistón

El pistón se calienta hasta alcanzar temperaturas extremadamente altas cuando la carga del motor es elevada, debiendo ser evacuado todo el calor a través de los segmentos hacia el cilindro, alcanzando un punto crítico de temperatura. Para evitar este problema en los motores diésel pesados, la refrigeración del pistón se lleva a cabo mediante chorro de aceite.

17.47. Bielas de motor diésel pesado.

## La biela

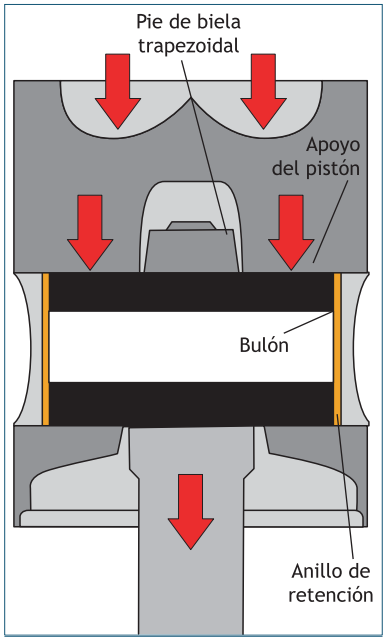
Las bielas son de acero hiperaleado. Las aleaciones más corrientes son de acero y cromomolibdeno; y de acero, cromomanganeso y silicona. Son materiales muy resistentes y se caracterizan por su dureza y poco peso. Las 6 bielas de un motor de 6 cilindros están clasificadas por peso y ambas partes de la cabeza van marcadas. Las bielas deben llevar una señal de posicionamiento. En los motores diésel modernos, la cabeza de la biela se divide de forma oblicua por separación con rotura (*cracking*). El pie de biela tiene forma trapezoidal; con este diseño el pistón puede construirse con mayor rigidez, contribuyendo a un aumento de las superficies de contacto entre el pistón y el bulón sin perder apoyo en la biela.

En los motores diésel pesados los tornillos que sujetan las tapas del cigüeñal a la bancada y los de los sombreretes de biela son de una gran robustez, motivado por los enormes esfuerzos a los que son sometidos durante la combustión.

17.48. Doble tornillo en la cabeza de biela.

## El bulón

El bulón es el encargado de unir la biela al pistón. Es una pieza del mecanismo del tren alternativo que sufre grandes esfuerzos y cargas. Tiene forma tubular para reducir el peso al mínimo y está fabricado de acero cementado, un material muy resistente a los esfuerzos del pistón. Existen varios tipos de montaje en los motores diésel pesados, debido a los grandes esfuerzos soportados en la articulación. El más utilizado es el **montaje flotante**, en el que el bulón no se encuentra unido ni a la biela ni al pistón, permaneciendo sujeto en su alojamiento por anillos de retención alojados en unas ranuras practicadas en el pistón, para impedir que roce con las paredes del cilindro.




17.49. Montaje flotante del bulón sobre la biela y el pistón.

17.50. Pistón y bulón.

17.51. Volante de motor diésel V8.

## El volante motor

El volante motor es una masa de inercia que equilibra el giro del cigüeñal. La velocidad del cigüeñal se incrementa al inicio de cada combustión y se reduce al final de la misma. El volante motor mitiga estas variaciones para que la marcha del motor sea más regular.

Para una misma cilindrada, la masa del volante se reduce a medida que el número de cilindros del motor aumenta.

### El amortiguador de vibraciones *damper*

En todos los motores se producen **vibraciones torsionales** a consecuencia de la torsión momentánea sufrida por el cigüeñal, debido a la fuerza desarrollada en la carrera de explosión y su recuperación en el resto del ciclo.

En los motores diésel pesados cada impulso de la combustión sobre los pistones ocasiona esfuerzos torsionales enormes en el cigüeñal. A consecuencia de esto el cigüeñal sufre oscilaciones y vibraciones que pueden provocar su rotura. Con el fin de reducir y contrarrestar estas oscilaciones se instala un amortiguador de vibraciones en el extremo delantero del cigüeñal, generalmente fuera del cárter (figura 17.52), aunque en los motores pesados es frecuente encontrar un amortiguador de vibraciones en el cigüeñal dentro del cárter en el extremo opuesto del volante de inercia.

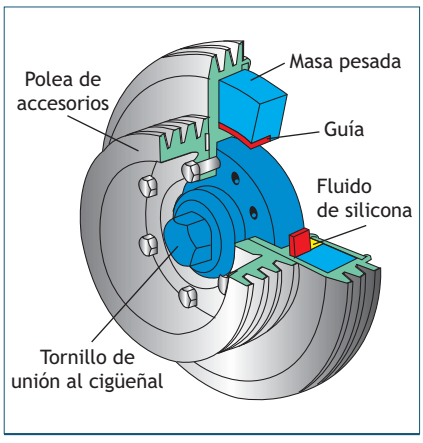
Aunque el volante se diseña con suficiente tamaño y masa para que su inercia mantenga un giro uniforme, absorbiendo energía en los impulsos giratorios y devolviéndola en el resto del ciclo, no evita que el cigüeñal se retuerza en esos momentos de aceleración.

Hay dos tipos de amortiguadores de vibración o *dampers*:

– El primero es un tipo de polea metálica (figura 17.53), con un peso y tamaño determinado, aunque también se utiliza el caucho como material amortiguador. Los cambios de par del cigüeñal son absorbidos por él y la energía es disipada en forma de calor. Por ello, una manera de comprobar si funciona bien un *damper* es notar si está más caliente que el resto de las piezas del motor que le rodean.
– En motores diésel pesados, por ejemplo los de Volvo, el amortiguador de vibraciones es de tipo viscoso (figura 17.54). Consta esencialmente de una corona pesada, que se encuentra en una carcasa fijada al extremo del cigüeñal, pudiéndose mover libremente dentro de ella, y ralentizándose en sus movimientos por un fluido de silicona. Este fluido se espesa con las oscilaciones. La corona tiende a oponerse a cualquier cambio súbito de velocidad, transmitiendo esta resistencia a través del fluido a la carcasa y, por tanto, al cigüeñal, contrarrestando o amortiguando la vibración torsional.

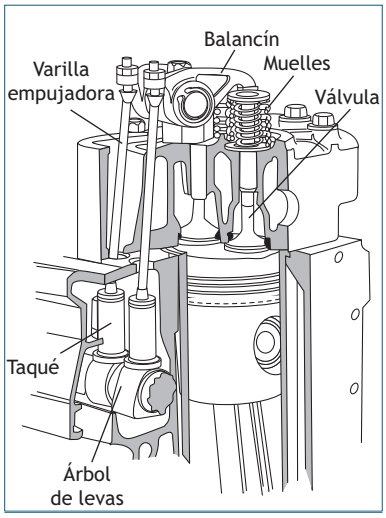
**17.52.** Ubicación del *damper* en el motor.

**17.53.** Amortiguador de vibraciones tipo masa metálica.

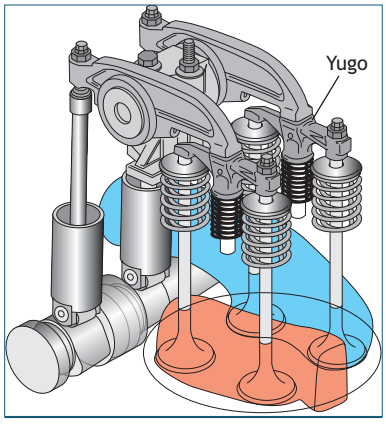



**17.54.** Amortiguador de vibraciones tipo viscoso.

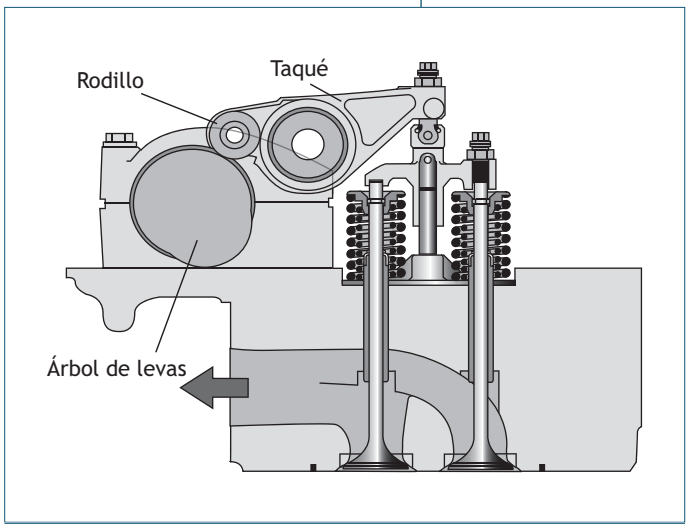
Práctica 18
Práctica 19
Práctica 24




**17.55.** Tren de válvulas típico en el motor diésel pesado.




**17.56.** Montaje de los yugos para el accionamiento de cuatro válvulas.




**17.57.** Montaje de árbol de levas en cabeza.

## 3.3 > El sistema de distribución

### El tren de válvulas

La finalidad del tren de válvulas es abrir y cerrar las válvulas de forma sincronizada con el movimiento del cigüeñal y de los pistones.

El árbol de levas es accionado en el motor diésel pesado por un conjunto de piñones que lo hacen girar a la mitad de revoluciones que el cigüeñal. Para accionar los taqués se dispone de dos levas por cada cilindro.

Podemos diferenciar dos tipos de montajes del árbol de levas:

– **Árbol de levas en el bloque.**

- Con balancines que accionan una válvula (figura 17.55). Para abrir y cerrar las válvulas se precisa de un movimiento de avance y retroceso. Este movimiento lo proporciona el árbol de levas: la leva transforma el movimiento de rotación en lineal en el taqué; la varilla empujadora colocada en el taqué acciona el balancín que, a su vez, abre la válvula correspondiente. Al quedar el taqué sin ser accionado por la leva, el muelle cierra la válvula.
- Con balancines que accionan dos válvulas (figura 17.56). Este es el tipo de montaje más corriente para motores diésel pesados de cuatro válvulas por cilindro. La leva empuja el taqué que transmite el movimiento a la varilla empujadora, accionando el balancín y, a su vez, el yugo, abriendo las válvulas simultáneamente.

– **Árbol de levas en cabeza de la culata** (figura 17.57). En este tipo de montaje, la leva acciona directamente el balancín. No hay varillas empujadoras y el sistema carece de varios de los componentes que incluye normalmente el montaje típico del tren de válvulas.

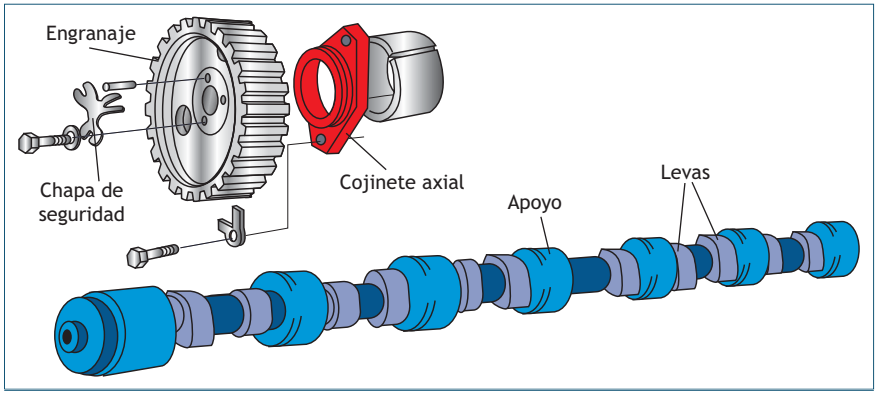
### El árbol de levas

El árbol de levas se elabora mediante un proceso de forja y moldeo. El material utilizado generalmente es aleación de acero o fundición. Todo el árbol y los apoyos se someten a un tratamiento de endurecimiento de superficies.

En un motor diésel pesado de 6 cilindros y 2 válvulas por cilindro, el árbol de levas dispone de una leva por válvula con siete apoyos lubricados a presión (figura 17.60).

El árbol de levas cuenta solo con dos levas entre cada cojinete, lo que le proporciona mucha robustez a la construcción para resistir las inmensas fuerzas a las que está sometido en el momento de abrir las válvulas.

Para mantener el árbol de levas en su posición correcta, debe instalarse un cojinete axial. El cojinete axial consta de una arandela de empuje, situada entre el engranaje del árbol y el mismo árbol de levas.




**17.60.** Árbol de levas para motor de 6 cilindros.

**17.58.** Árbol de levas de un motor Man.

## Las válvulas

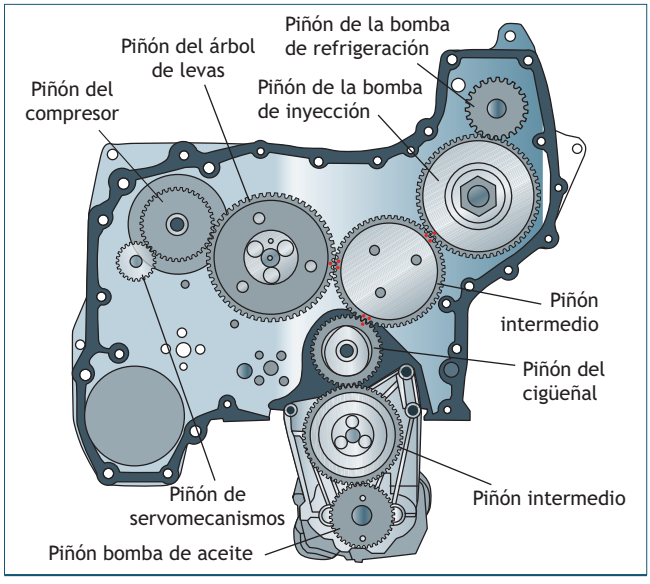
Las válvulas están fabricadas de acero al cromoníquel. La superficie de apoyo de la válvula de escape está revestida con estetita, una aleación de carbono, cobalto, volframio y molibdeno muy resistente al calor.

Las válvulas están sometidas a enormes esfuerzos soportando temperaturas muy elevadas; en motores diésel pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 800 °C. La carga aplicada a la cabeza de las válvulas de un motor diésel pesado puede sobrepasar los 35 kN en el momento de la combustión. Es una carga superior a la que soporta todo el pistón en muchos motores de gasolina.

**17.59.** Válvula doblada por mal reglaje de la distribución.

## Los piñones de la distribución

El mecanismo de la distribución del motor diésel pesado, se realiza mayoritariamente por piñones. El sistema acciona desde el piñón del cigüeñal los siguientes elementos: el árbol de levas, la bomba de inyección, la bomba de aceite y otros mecanismos auxiliares (figura 17.61).




**17.61.** Calado de los piñones de la distribución. Fuente: Volvo.

**17.62.** Piñones de la distribución motor SCANIA V8.

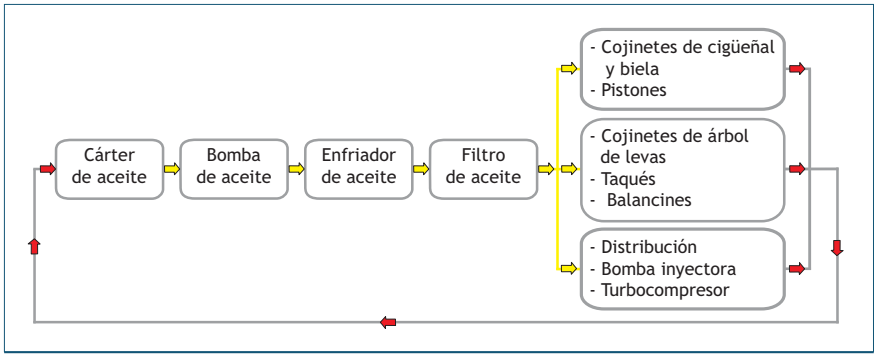
## 4 >> El sistema de lubricación en el motor diésel pesado

**El sistema de engrase es un sistema a presión en el que los componentes móviles se engrasan con aceite a presión. La bomba de engrase manda el aceite a presión a los órganos del motor y las paredes del cilindro. Los engranajes de la distribución se engrasan por barboteo.**

Las funciones del aceite en el motor diésel pesado son:

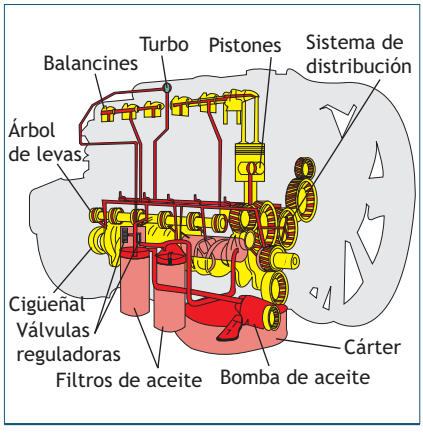
– Engrasar los componentes móviles del motor.
– Reducir el roce y el desgaste al máximo.
– Evacuar parte del calor de las piezas del motor.
– Amortiguar el ruido producido por el motor.
– Conseguir un cierre hermético entre segmentos y camisas.

Los circuitos de engrase a presión de los motores diésel tienen todos similares recorridos, siendo un circuito cerrado (figura 17.63).

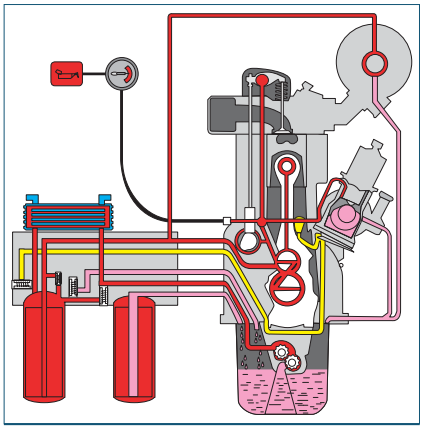



**17.63.** Recorrido del aceite en el circuito de engrase.

El motor se engrasa a presión mediante una bomba de aceite movida por el piñón del cigüeñal. La bomba recoge el aceite del cárter y lo envía al filtro, donde se encuentran las válvulas reguladoras de presión. El aceite filtrado y regulado es enviado por el circuito principal a engrasar los diferentes órganos del motor, regresando por gravedad de nuevo al cárter.




**17.64.** Circuito de engrase de un motor diésel Volvo de seis cilindros.



**17.65.** Esquema del recorrido del aceite de engrase del motor diésel Volvo D6.

### Cómo cuidar el motor diésel

Para evitar el desgaste prematuro del motor diésel es muy importante esperar a que el motor esté caliente antes de acelerar o apurar mucho el régimen de giro. El mayor desgaste del motor diésel lo sufre cuando está frío, la lubricación no es buena y las piezas móviles no están en buenas condiciones de funcionamiento. Con el turbocompresor es necesario esperar 2 minutos al ralentí antes de parar el motor.

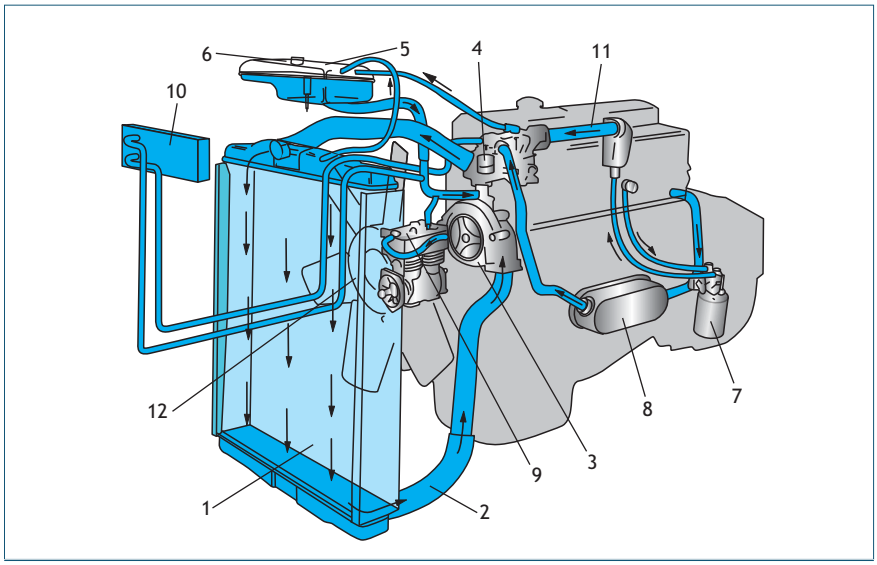
Un adecuado y escrupuloso cambio de aceite y filtros contribuyen al buen funcionamiento del motor y a alargar la vida del mismo.

**Práctica 18**

## 5 >> El sistema de refrigeración en el motor diésel pesado

La temperatura alcanzada en el interior del cilindro en el momento de la combustión se aproxima a los 2 500 °C, muy superior al punto de fusión del metal del que están hechos los cilindros y el resto de elementos.

El procedimiento empleado en los motores diésel pesados es el de refrigeración por líquido. La culata, válvulas y cilindros están rodeados por unas cavidades huecas llenas de líquido refrigerante. El líquido se enfría en el radiador y vuelve a pasar por las zonas calientes, para evacuar el calor y nuevamente cederlo en el radiador.




**17.67.** Componentes externos del sistema de refrigeración de un motor diésel pesado.

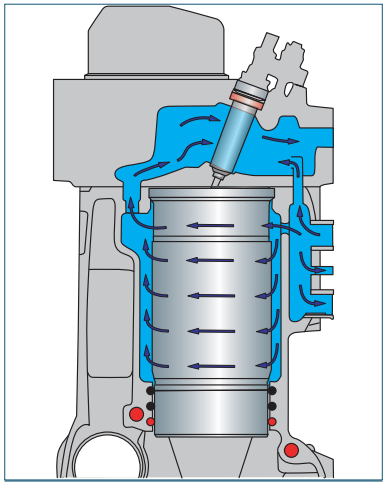
### Sistema de refrigeración por circulación forzada de líquido con circuito presurizado

En todos los vehículos diésel pesados actuales, e incluso en los tractores, la refrigeración es por circulación de líquido con el circuito presurizado, realizándose por medio de una bomba intercalada en el circuito, entre la parte baja más fría del radiador y las camisas del bloque.

En todos los circuitos el sistema se hace hermético para que el líquido no comience a hervir hasta pasados los 100 °C con lo que el rendimiento del motor mejora y se pierde menos anticongelante. El tapón del radiador o vaso de expansión se cierra herméticamente y está provisto de una válvula de seguridad que se abre en cuanto la presión del sistema alcanza un valor determinado, de 130 a 180 kPa (1,3 a 1,8 bar).

### Sistema de refrigeración por aire

En algunos motores diésel, como por ejemplo en los antiguos motores Deutz, la refrigeración se realiza por circulación de aire forzado. En este sistema se hace circular entre los cilindros y sus aletas una fuerte corriente de aire producida por un gran ventilador o turbina, movida por el propio motor.



**17.66.** Circulación del líquido refrigerante alrededor de cilindros y culata.

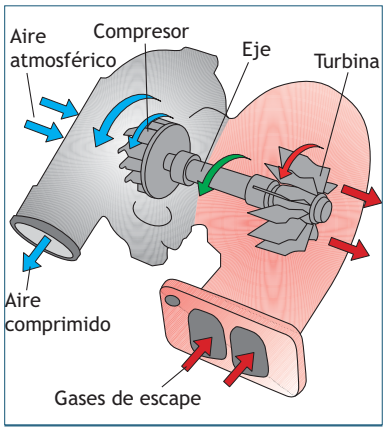
1 Radiador
2 Manguito
3 Bomba de líquido refrigerante
4 Termostato
5 Depósito de expansión
6 Tapón de seguridad
7 Filtro de líquido refrigerante
8 Enfriador de aceite
9 Culata del compresor de aire
10 Calefacción de la cabina
11 Conducto de retorno
12 Ventilador viscoso

### Filtro para el líquido refrigerante

Mantiene el Ph del refrigerante al mismo nivel para reducir el efecto de cavitación. Se identifica con el prefijo ELO.

**17.68.** Filtro de líquido refrigerante.

## 6 >> La sobrealimentación del motor diésel industrial



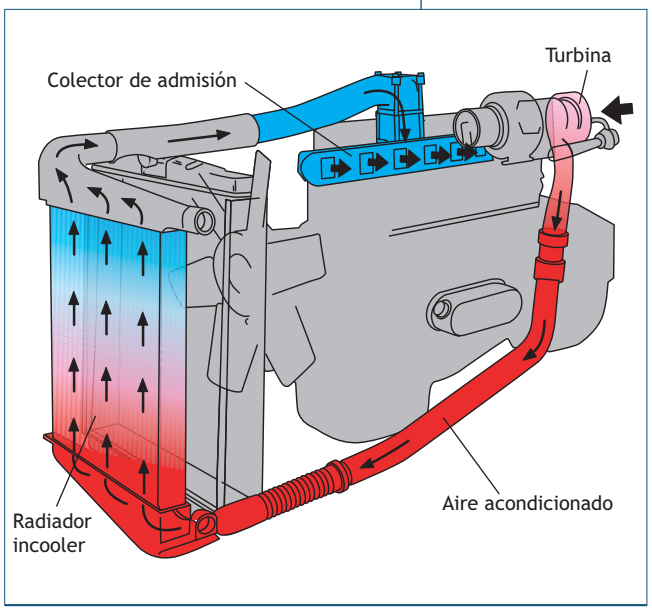

**17.69.** Esquema del turbocompresor.

Prácticamente la totalidad de los motores diésel industriales actuales son turboalimentados. Un turbocompresor introduce mayor cantidad de aire del que pueden aspirar los pistones por sí solos en el tiempo de admisión.

El turbocompresor tiene múltiples ventajas en el motor diésel, principalmente porque no le resta potencia al ser accionado por los gases de escape. El turbocompresor incrementa la potencia del motor al facilitar el llenado del cilindro en el tiempo de admisión. Es un elemento significativo en el motor diésel, cuanto mejor sea la combustión, mayor es la potencia, el rendimiento y menor la contaminación y el consumo.

La potencia de un motor sobrealimentado se puede aumentar en un 45% sobre la del mismo motor con aspiración natural.

El turbocompresor puede suministrar una presión de 150 a 180 kPa y llegar a alcanzar velocidades de 130 000 rpm.




**17.70.** Sistema de refrigeración del aire de sobrealimentación.

La sobrealimentación hace subir la temperatura del aire de admisión, aumentando su volumen y reduciendo con ello la cantidad de aire que entra en el cilindro. Si el aire se enfría al salir del turbocompresor, el volumen se reduce permitiendo introducir más cantidad de aire en el cilindro.

En el motor diésel pesado existen dos sistemas para enfriar el aire de la sobrealimentación:

– Refrigeración de aire - aire. Este es el sistema más utilizado (figura 17.70).
– Refrigeración de líquido - aire.

El enfriador de aire de sobrealimentación (*intercooler*) reduce la temperatura del aire unos 100 °C, pudiendo ser incrementada la potencia. Después de comprimir y enfriar el aire un 12%, también se eleva el par motor, disminuyendo a su vez los gases contaminantes y reduciendo el consumo. El *intercooler* se ubica en el vehículo delante del radiador de refrigeración.

**17.71.** Ubicación del turbocompresor en el motor de un camión.

**17.72.** Conjunto de doble turbo.

## Actividades finales

**1··** ¿Qué tipo de motor es el motor diésel industrial?

**2··** Haz una clasificación de los motores diésel pesados.

**3··** Realiza un estudio de los tipos de vehículos y máquinas en los que puede ir colocado un motor diésel industrial.

**4··** ¿Qué diferencias existen en los motores diésel según el tipo de vehículo en el que va montado?

**5··** Establece el orden en el que se producen los tiempos en un motor diésel de 4 tiempos:

- Ignición.
- Admisión.
- Combustión.
- Escape.
- Compresión.

**6··** ¿Por qué el motor diésel hace más ruido que el de gasolina?

**7··** ¿Por qué el motor diésel pesado es robusto?

**8··** ¿Cuál es el orden de ignición de un motor diésel de 6 cilindros en línea?

**9··** ¿Qué presiones pueden llegar a alcanzarse en el interior del cilindro de un motor diésel pesado?

**10··** ¿Qué número de culatas puede utilizar un motor diésel pesado de 6 cilindros en línea?

**11··** Anota el nombre de los principales componentes del motor diésel industrial y explica la función que cumple cada uno de ellos.

**12··** ¿Qué ventajas tienen los motores diésel pesados de cilindros en línea sobre los de cilindros en V?

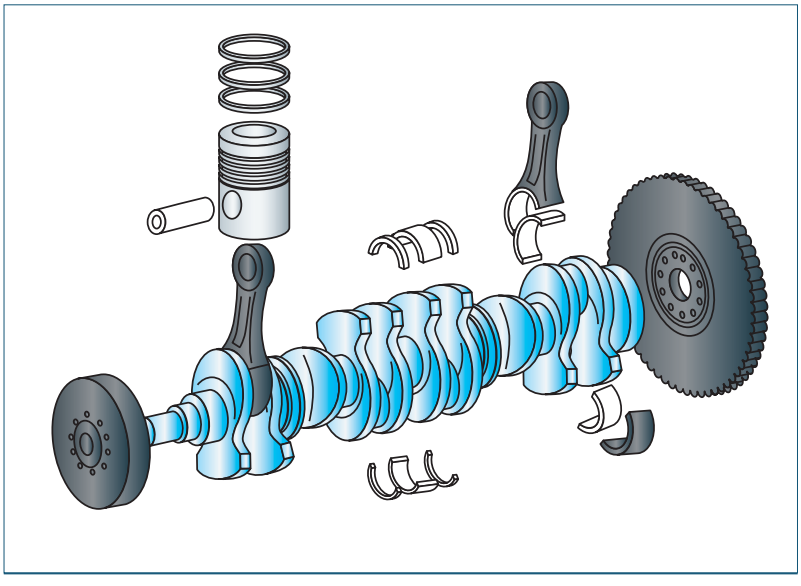
**13··** ¿Qué tipos de camisas se utilizan generalmente en los motores diésel pesados?

**14··** ¿Qué misión tiene el *damper*? ¿Por qué es tan importante en el motor diésel pesado?

**15··** Escribe el nombre de los componentes que integran el tren alternativo del motor diésel que se presenta en la figura 17.73 y explica su funcionamiento.

**16··** Elabora una relación de los elementos que intervienen en el circuito de engrase del motor diésel pesado. Haz una breve exposición del funcionamiento del circuito.

**17··** ¿Cuál es el sistema de refrigeración que utilizan los motores diésel pesados? Desarrolla una lista de los componentes y explica brevemente su funcionamiento.



**17.73.** Elementos que integran el tren alternativo.

## Caso final

### Mantenimientos básicos en el motor de un tractor

•• Para que los motores de los vehículos industriales, ya sean de camión, autobús, maquinaria de obras públicas o maquinaria agrícola, trabajen a pleno rendimiento y tengan una vida útil larga, se deben llevar a cabo una serie de mantenimientos básicos. ¿Cuál es el procedimiento para realizar este mantenimiento?

### Solución ••

Supongamos que es un tractor el vehículo sobre el que vas a realizar los trabajos de mantenimiento. Recuerda que toda operación de mantenimiento debe efectuarse con el motor parado, salvo en casos específicos. Los pasos que debes seguir para realizar un correcto mantenimiento son los siguientes:

1. Comprueba el nivel de aceite en el cárter todos los días. Para ello, es imprescindible colocar el vehículo sobre un terreno llano.

Para evitar consumos de aceite inútiles, daños al motor y contaminación, presta especial atención en los siguientes puntos:

- El nivel máximo del indicador de aceite no debe ser nunca sobrepasado.
- No añadas aceite si no se ha alcanzado el nivel mínimo. Si este se hubiera alcanzado, procede a rellenar el aceite.

2. Cambia el aceite de motor cada 200 horas y los filtros de aceite cada 400. Vacía el aceite cuando el motor esté aún caliente, quitando el tapón del cárter del motor, con el tractor en terreno llano. Aprieta el tapón de vaciado (par de apriete corriente de 3,5 daNm) y repón el aceite. Llena el depósito del aceite recomendado hasta la marca **MAX** de la varilla.

Nota: deja asentarse el aceite en el cárter antes de volver a comprobar el nivel.

**17.74.** Comprobando el nivel de aceite.

**17.75.** Tapón de vaciado del aceite.

3. Verifica periódicamente el estado del circuito del respiradero, comprobando los tubos de goma especial, y asegurándote de que no existen desgastes, escapes, daños u obstrucciones.

4. Verifica el filtro de aire. Si se enciende la luz testigo del filtro de aire, saca el elemento filtrante y límpialo. En algunos vehículos no se permite la limpieza del filtro y se debe cambiar cuando se enciende la luz de colmatación. En todo caso hay que sustituirlo cuando se hayan realizado cuatro limpiezas, y al menos una vez al año.

Del mismo modo, hay que cambiar el prefiltro después de cuatro cambios o limpiezas del elemento principal del filtro, y al menos una vez al año. Recuerda que este no se debe limpiar. Verifica que el cuerpo del filtro no esté dañado y asegúrate de que todos los collares y tubos de goma estén correctamente apretados.

Antes de reponer el elemento, limpia el cuerpo del filtro con un paño húmedo o aspirador para quitar todo rastro de polvo y arenillas. **No soples con aire a presión, la arenilla puede entrar en la transmisión.**

**17.76.** Retirar la tapa del filtro.

**17.77.** Extraer el filtro.

**17.78.** Extraer el prefiltro.

Recuerda las siguientes recomendaciones:

- No soplar sobre el elemento externo directamente con aire a presión; proyecta el aire desde el interior hacia fuera a una presión máxima de 400 kPa (4 bar), manteniendo la boquilla a una distancia de 25 cm.
- No apliques nunca aceite a un elemento de aire seco.
- No utilices gasolina o disolventes para limpiar un elemento.
- No limpies los elementos golpeándolos sobre una superficie.

5. Verifica periódicamente el nivel de líquido refrigerante en el depósito de expansión. El indicador rojo se enciende tan pronto como se alcanza el nivel mínimo. La calidad del líquido refrigerante puede tener un efecto decisivo en la eficacia y la vida útil del sistema de refrigeración. Recuerda no superar la mitad del depósito durante el llenado del refrigerante.

Si el motor está muy caliente no quites nunca el tapón del vaso; espera a que enfríe un poco, afloja el tapón hasta la primera muesca, dejando que se escape la presión antes de quitar el tapón por completo.

Recuerda tomar siempre una serie de precauciones contra el hielo:

- Comprueba el grado de protección de la mezcla antes de cada estación fría.
- Cambia el líquido refrigerante cada 2 años.
- Limpia las láminas del radiador con aire comprimido con cierta periodicidad.

**17.79.** Aflojando el tapón hasta la primera muesca.

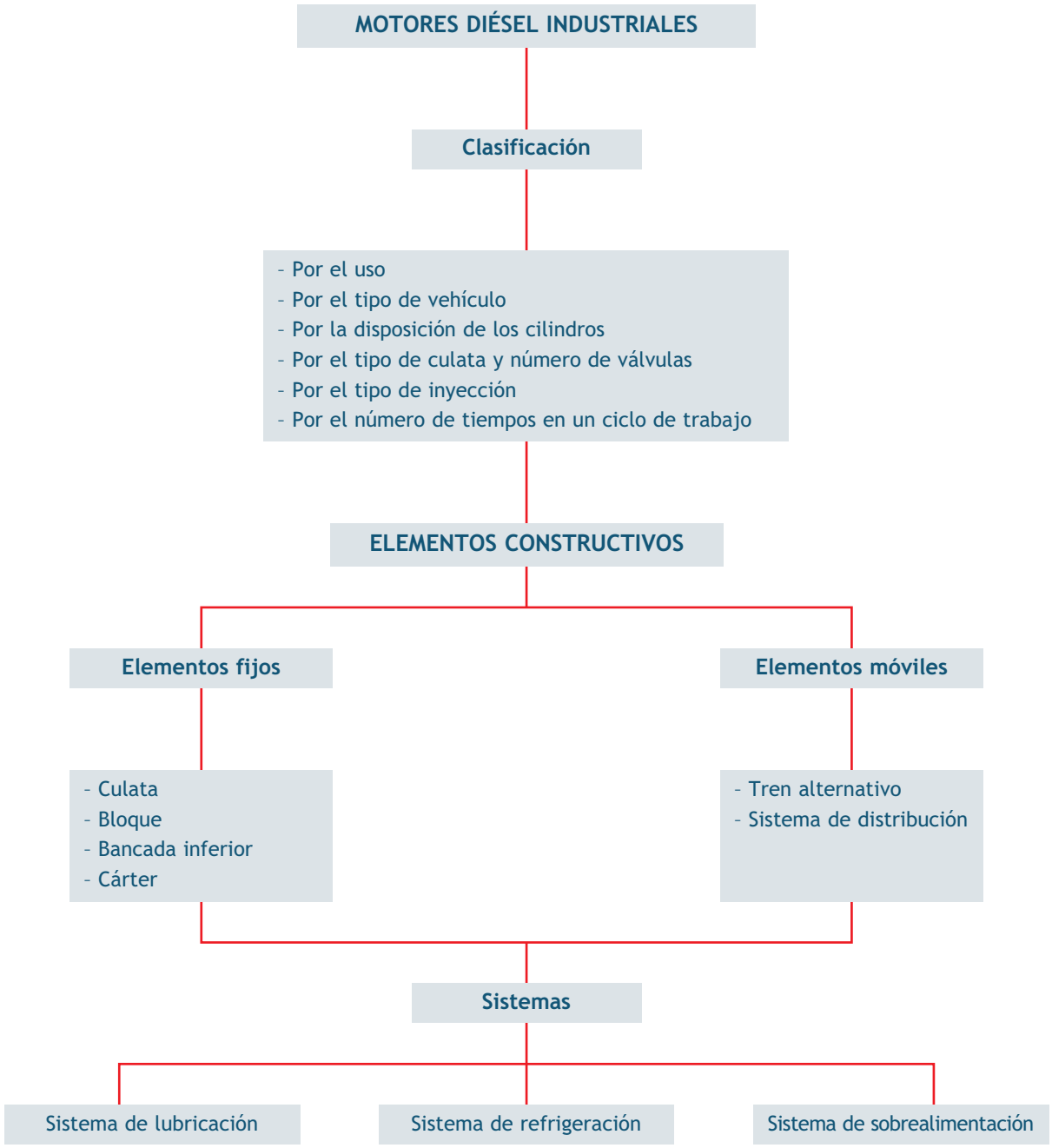
**17.80.** Retirando el tapón.

6. Revisa el prefiltro de combustible periódicamente vaciando el agua cada 50 horas. Para eso, coloca un recipiente debajo y, a continuación, abre el grifo en la parte inferior para dejar escapar el agua y otras impurezas, luego acciona la bomba de alimentación. Cambia los elementos filtrantes cada 400 horas.

**17.81.** Inspeccionando el decantador.

**17.82.** Procediendo a evacuar el agua.

## Ideas clave


MOTORES DIÉSEL INDUSTRIALES
Clasificación
- Por el uso
- Por el tipo de vehículo
- Por la disposición de los cilindros
- Por el tipo de culata y número de válvulas
- Por el tipo de inyección
- Por el número de tiempos en un ciclo de trabajo
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS
Elementos fijos
Elementos móviles
- Culata
- Bloque
- Bancada inferior
- Cárter
- Tren alternativo
- Sistema de distribución
Sistemas
Sistema de lubricación
Sistema de refrigeración
Sistema de sobrealimentación

# SOLUCIONES PARA ADAPTARSE A LAS NUEVAS DIRECTIVAS EURO PARA REDUCIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LOS VEHÍCULOS INDUSTRIALES

## Solución Blue Tec, tecnología diésel SCR de Mercedes-Benz

Desde hace varios años, la Unión Europea ha introducido directivas cada vez más estrictas acerca de las emisiones contaminantes de los vehículos a motor, principalmente de los vehículos industriales.

Al entrar en vigor la Euro 4 se exigen nuevos límites de emisiones. En 2009, disminuirán de nuevo con la entrada en vigor de la Euro 5.

Al igual que con la Euro 4, los valores límite de contaminación de la Euro 5 no pueden lograrse optimizando el funcionamiento del motor. Es necesario depurar los gases de escape. Mercedes–Benz, en sus vehículos industriales, ha apostado por una solución con excelentes resultados para el futuro: la *Blue Tec,* basada en la tecnología diésel SCR (*Selective Catalytic Reduction*).

**17.83.** Vehículo Industrial Mercedes-Benz con solución *Blue Tec*.

## Componentes de *Blue Tec*

El objetivo principal de esta solución es reducir la contaminación, logrando la emisión de menos óxidos de nitrógeno y partículas, al mismo tiempo que se consigue un consumo más bajo de combustible. Para lograr todo esto, se ha desarrollado un sistema cuyos componentes centrales son: el aditivo AdBlue, la unidad de alimentación, el catalizador SCR y el equipo de diagnóstico del sistema.

## Funcionamiento de *Blue Tec*

La característica principal de *Blue Tec* es que es capaz de desarrollar un motor que posee una técnica optimizada. Con una mayor presión de inyección para mejorar la combustión y reducir tanto el consumo como la masa de partículas en los gases de escape. Los óxidos de nitrógeno reaccionan con AdBlue en el catalizador y se convierten en sustancias inocuas. El equipo de diagnóstico supervisa permanentemente el funcionamiento de los componentes e informa al conductor acerca de las reservas de AdBlue en el depósito. Con esta tecnología, Mercedes-Benz satisface la normativa comunitaria actual, y la futura. Todo ello con un máximo nivel de rentabilidad.

**AdBlue:** es un aditivo inodoro, no tóxico y fácil de repostar, que se mezcla con los gases de escape calientes del motor diésel e interviene en la reducción química de las sustancias nocivas en el catalizador.

unidad 18

# Motores híbridos

## SUMARIO

- Vehículos eléctricos con baterías, con pila de combustible o híbridos
- Almacenamiento de energía
- Control de motores eléctricos

## OBJETIVOS

- Saber identificar los componentes básicos de un motor híbrido.
- Conocer el funcionamiento básico de la pila de combustible.
- Conocer las técnicas de regulación de los motores eléctricos.
- Reconocer las ventajas e inconvenientes que pueden aportar las nuevas formas de propulsión.

# 1 >> Vehículos eléctricos

**Los vehículos eléctricos son los menos contaminantes en la actualidad. Pueden funcionar usando pocos combustibles derivados del petróleo o, incluso, no llegar a usarlos.**

Existen principalmente tres formas de propulsión alternativa para vehículos:

– El motor eléctrico con batería (VEB).
– El motor híbrido (VEH).
– El motor eléctrico con pila de combustible (VEPC).

En esta unidad vamos a analizar las principales ventajas e inconvenientes del uso de cada uno de ellos. Los llamaremos vehículos en lugar de motores, para ajustarnos a la nomenclatura usada por los fabricantes. En la siguiente tabla aparecen los nombres de todos ellos, y sus acrónimos utilizados en español y en inglés.

### Autonomía de las baterías

Un kilo de baterías equivale a unos 20 g de combustible. La autonomía típica de un VEB oscila entre 100 y 200 km, frente a uno convencional que es de unos 500 km de media.

### Emisiones cero

A los VEB se les llama de emisiones cero (VEC), pues no producen ninguna contaminación relativa a las emisiones.

| Concepto | Acrónimo | En inglés | Acrónimo |
|---|---|---|---|
| Vehículo Eléctrico | VE | Electric Vehicle | EV |
| VE con Baterías | VEB | Battery - (operated) EV | BEV |
| VE con Cero - Emisiones | VEC | Zero - emissions EV | ZEV |
| Vehículo de Combustión Interna | VCI | Fuel Cell EV | FCEV |
| VE con Pila de Combustible | VEPC | Hybrid EV | HEV |
| VE Híbrido | VEH | Plug - in Hybrid EV | PHEV |

## 1.1 > Vehículo eléctrico con baterías (VEB)

**El vehículo eléctrico con baterías, conocido como VEB, consta de un motor eléctrico y unas baterías recargadas con una fuente exterior.**

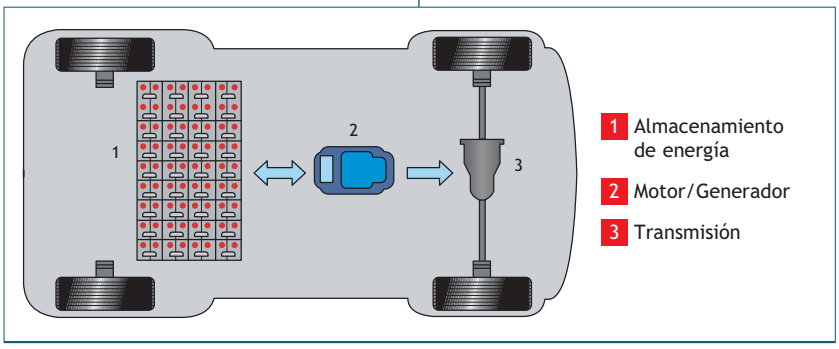
Este tipo de propulsión presenta las siguientes ventajas:

– El motor eléctrico tiene un rendimiento muy alto, del orden del 90%, mientras que el alternativo no llega al 40%.
– La energía se recupera de forma fácil. El motor puede funcionar como generador.
– Es posible cargar las baterías con la electricidad normal de los hogares.
– El motor eléctrico se controla muy bien y da mucho par a bajas revoluciones.
– El motor eléctrico es mucho más simple que un motor alternativo, ya que dispone de menos elementos móviles.

El gran lastre de estos propulsores es el almacenamiento de energía, pues si se quieren conseguir potencias altas y gran autonomía, las baterías deben ser grandes, y la ventaja se pierde por el peso y el encarecimiento de las mismas.

### Medio ambiente

Aunque la electricidad que consumen los VEB provenga de combustibles fósiles, estos siguen siendo más limpios, pues las grandes centrales producen electricidad con mejor rendimiento y menos emisiones que lo que pudiera hacerlo un MCI.




**18.1.** Configuración básica de un VEB.

## Vocabulario

**Catalizador:** Se usa para incrementar la probabilidad de que la reacción ocurra, es decir, ayuda a que se produzca la reacción. En las pilas PEM este suele ser de platino.

### Reacciones del hidrógeno

- Reacción para generar $H_2$:

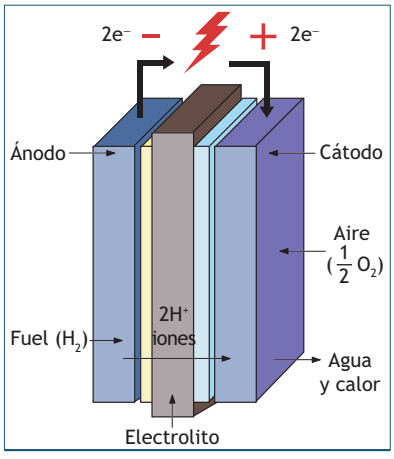
$$H_2O + \text{energía} \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$$

- Reacción para producir electricidad:

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + \text{energía (electricidad)}$$

### Aumento de superficie

Las ranuras en el grafito hacen que la superficie de contacto del $H_2$ y el aire con la MEA sea lo mayor posible para favorecer la reacción.




**18.3.** Principio de operación de una pila de combustible.

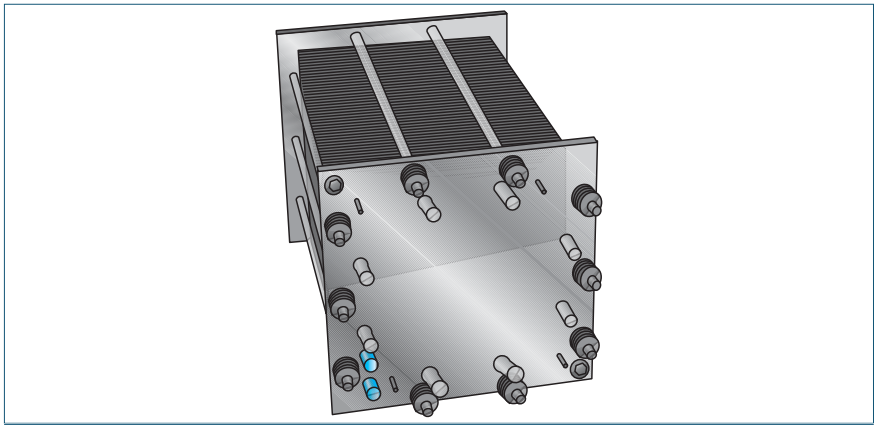
## 1.2 > Vehículos eléctricos con pila de combustible (VEPC)

**Estos vehículos funcionan por propulsión con motor eléctrico, alimentado por una pila de combustible que genera electricidad mediante la mezcla del hidrógeno almacenado en un depósito y el oxígeno del aire.**

La reacción genera agua que sirve para refrigerar el sistema. Los principales problemas son el almacenamiento y la producción del hidrógeno.

Las formas principales de almacenamiento de hidrógeno en estos vehículos son:

– En forma líquida en depósitos criogénicos, a –253 °C.
– Como gas comprimido a una presión superior a 200 bar.
– Como hidruros metálicos (sólido). Devuelven $H_2$ al aportar calor.



**18.2.** Aspecto típico de una pila de combustible sin accesorios.

Las formas principales de producción de hidrógeno en estos vehículos son:

– A partir de fuentes fósiles como hidrocarburos, carbón y biomasa.
– A partir de electricidad, por electrólisis del agua.
– Como subproductos de la industria.

### La pila de combustible *(Fuel Cell)*

**La pila de combustible basa su funcionamiento en el proceso inverso a la electrólisis, en la cual el agua se descompone en oxígeno e hidrógeno al aplicar electricidad.**

Cada celda de la pila está compuesta por un ánodo, un cátodo, un catalizador y un electrolito. A este conjunto se le llama MEA. La MEA se coloca entre dos placas ranuradas de grafito (electrodos) que canalizan el combustible y el aire a ambos lados.

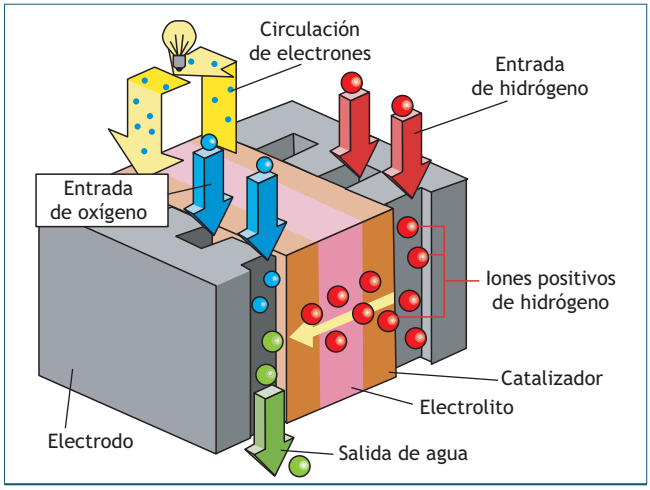
La pila produce electricidad según sea la demanda, por lo que no se necesitaría almacenamiento de energía, salvo para calentarla en el arranque hasta su temperatura de funcionamiento. Un vehículo con esta propulsión solo necesitaría de la pila de combustible, el motor eléctrico y un sistema electrónico de control como elementos básicos. La pila más común es la denominada PEM, que trabaja a baja temperatura y bajas presiones de alimentación.

### La pila de membrana polimérica de intercambio de protones (PEM)

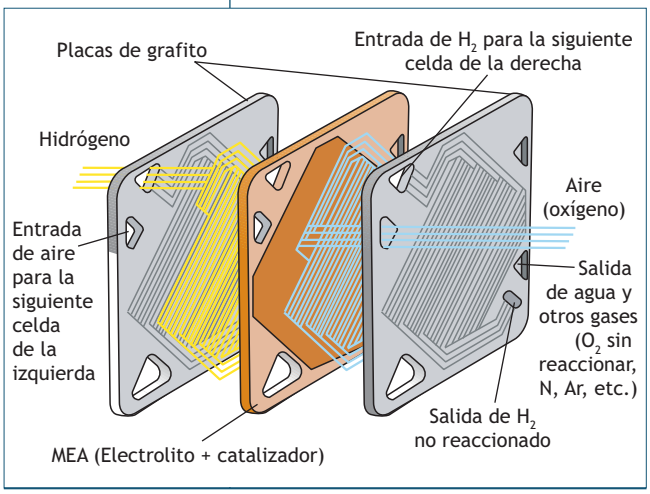
– El electrolito es una membrana que deja pasar los iones $H^+$ desde el ánodo al cátodo y retiene los electrones ($e^-$).
– Trabaja a una temperatura de 70 - 90 °C y una presión de 1 - 2 bares.
– Produce una tensión por celda del orden de 1,1 V.

**Vocabulario**

**MEA:** Membrane Electrode Assembly.




**18.4.** Principio de operación de una pila PEM.




**18.5.** Estructura real de una celda de una pila.

Existen otros tipos de pilas que se basan en funcionamientos similares a la PEM, y que además admiten otros combustibles aparte del hidrógeno. Se muestran en la siguiente tabla.

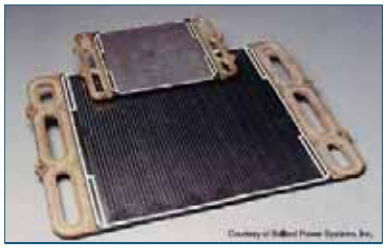
**Tipos de pilas de combustible y sus características principales**

| TIPOS Nomenclaturas | | Tipo de electrolito | Temperatura de trabajo | Rendimiento eléctrico | Combustible |
|---|---|---|---|---|---|
| PEM | *Polimer Electrolyte Fuel Cell* | Polímero sólido | 80 °C | 35 - 45% | $H_2$ (tolera $CO_2$) |
| AFC | *Alkaline Fuel Cell* | Alcalino | 65 - 220 °C | 35 - 50% | $H_2$ Puro |
| PAFC | *Phosphoric Acid Fuell Cell* | Ácido fosfórico | 205 °C | 35 - 50% | $H_2$ Puro (tolera $CO_2$ y 1% de CO) |
| MFCF | *Molten Carbonate Fuel Cell* | Carbonato fundido | 650 °C | 45 - 60% | $H_2$ y $CH_4$ (tolera $CO_2$) |
| SOFC | *Solid Oxide Fuel Cell* | Óxido sólido | 600 - 1 000 °C | 45 - 60% | $H_2$ y $CH_4$ (tolera $CO_2$) |

## 1.3 > Vehículos eléctricos híbridos (VEH)

El VEH dispone de un motor térmico de cualquier tipo y de un motor eléctrico. Se beneficia de las ventajas de la propulsión eléctrica, pero sin tener que incorporar las baterías grandes y pesadas de los VEB. También incluyen unas baterías más pequeñas, para recuperar energía de las frenadas, retenciones, etc. **(frenada regenerativa).**

Los fabricantes consideran estos vehículos como el paso intermedio para pasar de los MCIA a los motores con pila de combustible.



**18.6.** Placas de grafito de diferente tamaño.

**Los objetivos que se pretenden alcanzar con los VEH son:**

- Reducción de emisiones
- Aumento del rendimiento
- Reducción de consumo
- Cambio de combustible
- Reducción de tamaño

**Modelos de híbridos**

El motor térmico suele ser de gasolina, pero los fabricantes están desarrollando modelos con motores diésel. El eléctrico con pila de combustible también se considera híbrido.

**La clave del aprovechamiento energético consiste en:**

– Empleo de frenada regenerativa: recarga de baterías mediante el propio motor eléctrico funcionando como generador, con volantes de inercia, supercondensadores, etc.
– Que el motor térmico funcione en la zona óptima de rendimiento, consumo y emisiones contaminantes.

### Configuraciones de los VEH

Todas las configuraciones que adoptan los fabricantes para el VEH están compuestas por:

– **Propulsión:** motor de combustión interna + motor/generador eléctrico.
– **Complementos:** almacenamiento de energía (baterías, volantes de inercia, supercondensadores) para el proceso regenerativo, y gestor electrónico de demanda de potencia.

Según se dispongan el motor de combustión y el eléctrico, se pueden tener las siguientes configuraciones:

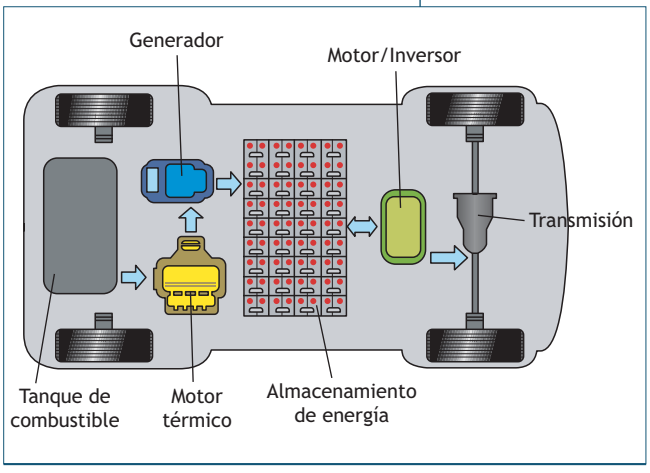
### Configuración en serie

El motor térmico o una pila de combustible recarga las baterías cuando sea necesario, y la propulsión es únicamente eléctrica y alimentada por las baterías.

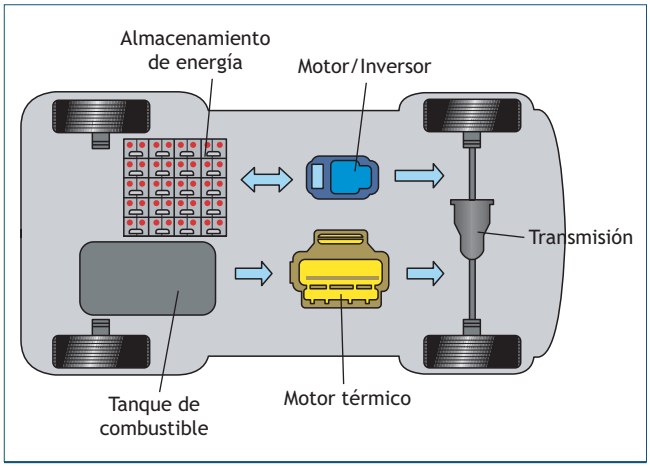
– **Ventajas:** se consigue tener al motor térmico en su punto óptimo de trabajo, reduciendo las emisiones contaminantes y el consumo. La transmisión es mas sencilla.
– **Inconvenientes:** baterías mayores, menor rendimiento en el tránsito energético mecánico-eléctrico-mecánico y mayor motor eléctrico.

### Configuración en paralelo

El motor térmico y el eléctrico pueden mover la transmisión. Dependiendo de las diferentes versiones, la propulsión puede ser por el motor térmico, por el motor eléctrico o por los dos a la vez. El aprovechamiento energético es mayor que en la versión en serie.




**18.7.** Configuración serie de un VEH.



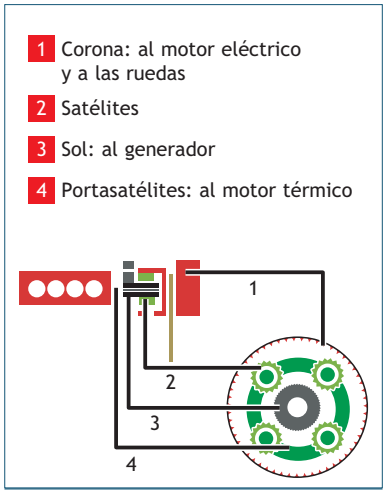

**18.8.** Configuración paralelo de un VEH.

Para este tipo de configuración existen diversas variantes:

– **FULL HYBRID.** Posible propulsión únicamente por motor eléctrico, térmico o ambos a la vez. Tiene una versión avanzada llamada *Advanced Hybrid System II* (AHS II) que se divide en:
  • IMPUT-SPLIT HYBRID. El motor eléctrico siempre está girando y el motor térmico solo cuando es necesario. Es el sistema patentado de Toyota que denomina *Hybrid Sinergy Drive* (HSD). Este consta del motor térmico, dos motores eléctricos, el sistema PSD y el sistema de alta potencia (conjunto inversor). Con esto se elimina la caja de cambios y el motor de arranque. Las conexiones mecánicas y la electrónica consiguen que el motor térmico trabaje en un punto óptimo pudiendo aportar: par a las ruedas, velocidad de rotación extra en las ruedas o generación de electricidad. También puede estar parado y funcionando únicamente el eléctrico.
  • COMBINED-SPLIT HYBRID. Presenta sistemas de acoplamiento distinto para cada motor, por lo que pueden funcionar de forma independiente controlando la potencia que aporta cada motor. Desarrollado por GM, Daimler-Chrysler y BMW. Es similar al Toyota, pero con dos cajas de planetarios.
– **ASSIST HYBRID.** Motor térmico siempre funcionando y eléctrico de ayuda. Desarrollado por Honda y denominado IMA (*Integrated Motor Assist*). El motor eléctrico, que además hace las funciones de generador, ayuda al térmico cuando lo necesita, recarga baterías cuando sobra energía y arranca el térmico. El Honda Insight es un ejemplo.
– **MILD HYBRID.** Vehículo convencional con motor de arranque sobredimensionado. Puede incluir frenada regenerativa, pero no tiene el rendimiento del *Full Hybrid.* El Chevrolet Silverado es un ejemplo.
– **PLUG-IN HYBRID.** Es un *Full Hybrid* con baterías mayores y que dispone de posibilidad de carga exterior.
– **HYDRAULIC HYBRID.** El motor eléctrico es sustituido por una bomba y las baterías por un acumulador de aire comprimido. Desarrollado por Volvo e implementado en el Ford F-350 *Mighty Tonka.*
– **PNEUMATIC HYBRID** (MDI). Motor de aire comprimido acompañado de motor diésel y freno regenerativo.
– Existen otros modelos que están en fase de desarrollo.

**18.9.** Imagen de coche que incorpora HSD.

**18.10.** Aspecto exterior de un inversor.




**18.11.** Engranaje de reparto de potencia (PSD).

## 2 >> Almacenamiento de energía

Los sistemas de almacenamiento de energía son la clave de los VEB y VEH que permiten aprovechar al máximo la regeneración además de aportar potencia y autonomía a los vehículos. Las posibles formas son: baterías, volantes de inercia (VI), supercondensadores (SC), sistemas hidráulicos, etc. Se comentan los tres primeros.

Los VI y los SC mejoran el funcionamiento y el proceso regenerativo en los VEH y VEB de la siguiente manera:

– Se puede usar para acelerar el vehículo cuando se demande potencia, evitando picos grandes de potencia de las baterías principales.
– El VI o el SC absorbe la energía de la frenada, y después se genera electricidad hacia las baterías de manera más suave, ya que estas no absorben picos grandes de corriente.
– Lo anterior también ayuda a que las baterías tengan una vida más larga.

**Potencia y energía de una batería**

La potencia específica (kW/kg) indica el poder instantáneo que tiene la batería, mientras que la energía específica (J/kg ó Wh/kg) está vinculada a la autonomía.

1Wh = 3 600 J

| Sistema de acumulación | Energía específica (Wh/Kg) | Potencia específica (W/Kg) | Vida (ciclos) |
|---|---|---|---|
| Volante de inercia | 14 | 800 | 3 000 |
| Supercondensador | 7 | 2 000 | 5 000 |
| Pb - ácido | 40 | 150 | 300 |
| Li - polímero | 130 | 150 | 600 |
| Ni - MH | 80 | 150 | 700 |

### 2.1 > Baterías

Las baterías suelen ser el componente más caro de los vehículos eléctricos, además de requerir un alto mantenimiento o recambio. El elevado coste se reduciría si la producción de vehículos de este tipo fuera mayor y se invirtiera más en el desarrollo tecnológico. Los principales tipos de baterías utilizadas para este tipo de vehículos son:

– Batería de plomo - ácido (PbAc)
– Batería de Niquel - Cadmio (Ni - Cd)
– Batería de Niquel - Metal - Hidruro (Ni - MH)
– Batería de Ión - Litio (Li - ión)
– Batería de Polímero - Ión - Litio (Li - Po)

Las características más importantes a la hora de hacer comparaciones entre baterías son las siguientes:

– La energía específica.
– Los ciclos de carga/descarga (mantenimiento).
– Y la potencia específica.

Siempre interesa que estas variables tengan valores altos. Las celdas se agrupan para obtener tensiones de almacenamiento del orden de cientos de voltios. En vehículos que porten estas baterías es importante tener cuidado, pues la elevada tensión puede provocar accidentes eléctricos de importancia.

**Efecto memoria**

Propiedad de las baterías alcalinas por la cual pierden parte de su capacidad si se recargan antes de que la descarga sea casi total. Se puede evitar haciendo que la primera carga sea muy larga, y descargando completamente cada cierto tiempo dependiendo del uso (por ejemplo, cada 15 días).

| Tipo | Energía/ peso | Tensión por elemento (V) | Duración (número de recargas) | Tiempo de carga | Efecto Memoria |
|---|---|---|---|---|---|
| Pb - Ácido | 30 - 50 Wh/Kg | 2 V | 200 - 300 | 8 - 16 h | NO |
| Ni - Cd | 48 - 80 Wh/Kg | 1,25 V | 1 500 | 1 h | SÍ |
| Ni - MH | 60 - 120 Wh/Kg | 1,25 V | 500 - 800 | 2 h - 4 h | SÍ, pero menor |
| Li - ión | 110 - 160 Wh/Kg | 3,6 V | 400 - 700 (tres años de vida) | 2 h | SÍ |
| Li - Po | 100 - 130 Wh/Kg | 3,6 V | 300 - 500 (tres años de vida) | 1 h - 1,5 h | NO |

## 2.2 > Volantes de inercia (VI)

Es un elemento mecánico auxiliar (distinto del volante de inercia del motor térmico) capaz de almacenar energía en forma de energía cinética de rotación. La energía acumulada depende de la masa y la velocidad según la fórmula:

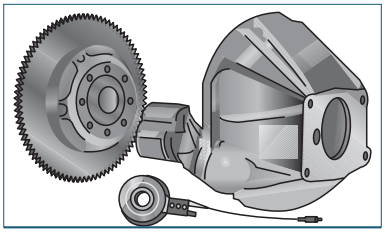
$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Por lo tanto, si se quiere almacenar mucha energía es más importante la velocidad que la masa. Por eso, lo ideal es tener un rotor ligero, con alta resistencia mecánica y conseguir altas velocidades de rotación. Para evitar grandes pérdidas por rozamientos debido a velocidades elevadas, se recurre a volantes en cámaras de vacío girando sobre ejes suspendidos magnéticamente.

Los VI tienen mucha potencia específica pero baja energía específica y pueden presentar problemas giroscópicos que afecten a la estabilidad del vehículo.

### Giroscópico

Si una rueda gira a gran velocidad, y se le intenta cambiar de dirección, ella reacciona oponiéndose. Te proponemos el siguiente experimento: coge una rueda de bicicleta sujetándola por los dos extremos del eje y, con ayuda, hazla girar rápidamente. Ahora intenta girarla hacia un lado y observa lo que sucede.

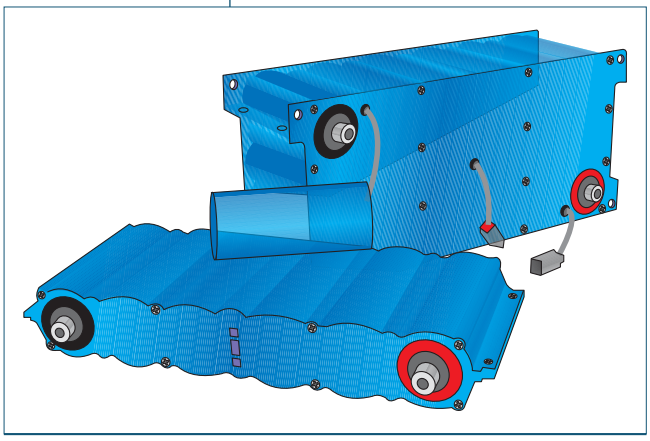


**18.12.** Volante de inercia para acumulación de energía cinética.

## 2.3 > Supercondensadores (SC)

Es otra posibilidad de almacenamiento auxiliar de energía. Tienen la ventaja de que no hay partes en movimiento, admiten picos grandes de corriente y su vida útil es larga. Por el contrario, el problema que presentan es que almacenan escasa energía (poca capacidad) y están insuficientemente desarrollados. Sería el elemento ideal para la frenada regenerativa, si se consiguen diseños con alta energía específica.

Los SC tienen una potencia específica aun mayor que los volantes de inercia, pero muy baja energía específica a día de hoy. Esto quiere decir que los esfuerzos futuros en la mejora de estos dispositivos se deberán de basar en conseguir mayor capacidad y menor volumen - peso.



**18.13.** Supercondensadores.

## 3 >> Control de los motores eléctricos

Las principales variables que hay que controlar en todo motor son el **par** y la **velocidad**.

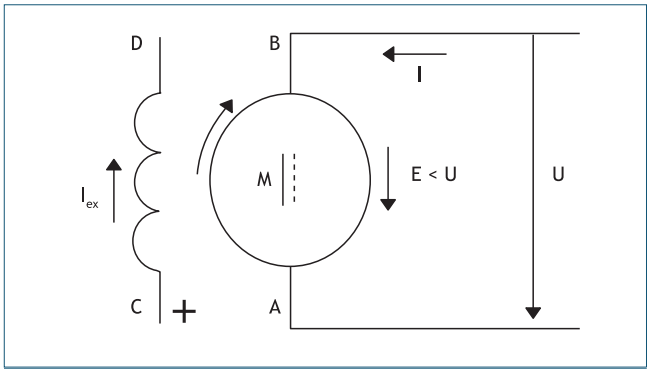
### 3.1 > Motores de corriente continua

Las dos ecuaciones principales para estos motores/generadores son:

– Par: $M = K \cdot \Phi \cdot I$ y $\Phi = K_{excitación} \cdot I_{excitación}$

– Velocidad: $n = \frac{1}{K \cdot \Phi} (U_m - R \cdot I)$

| | |
|---|---|
| M | Par |
| $\Phi$ | Flujo del circuito magnético |
| n | Velocidad de giro |
| I | Corriente principal de alimentación |
| $I_{excitación}$ | Corriente del circuito de excitación |
| R, K, $K_{excitación}$ | Constantes del motor |
| $U_m$ | Tensión media de alimentación |




**18.14.** Variables en el motor de CC.

Por lo tanto, la forma de operar del controlador es:

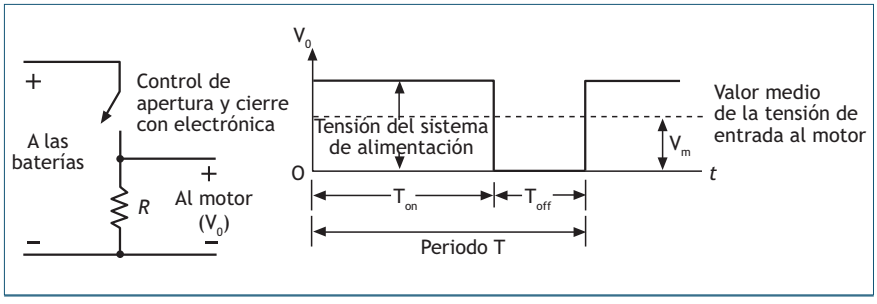
– Ajustar I para tener el par que necesite (o ajustar $I_{excitación}$).
– Ajustar $U_m$ para tener las rpm que necesite.

La forma de controlar el valor de la corriente puede ser con resistencias en serie o mediante dispositivos electrónicos.

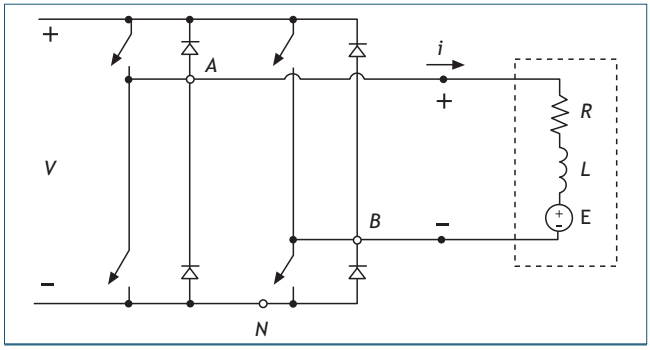
La forma de controlar la tensión es mediante convertidores CC/CC. El valor medio de la tensión que le llega al motor según la figura 18.15, vale:

$$V_m = \frac{T_{on}}{T} V_0$$

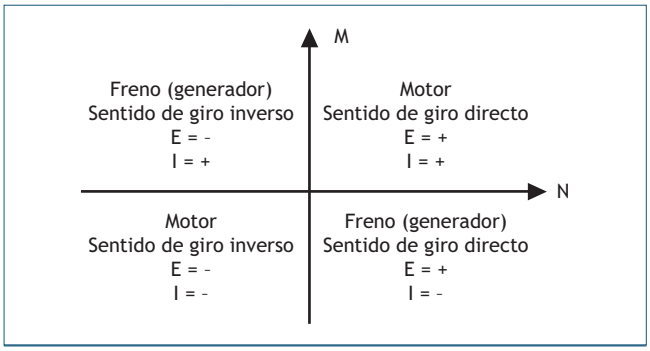
Por lo que controlando el tiempo de encendido ($T_0$) se puede obtener cualquier valor de tensión de entrada al motor entre 0 V y la tensión máxima: $V_0$.




**18.15.** Convertidor CC/CC de un único interruptor.




**18.16.** Convertidor CC/CC de cuatro cuadrantes.




**18.17.** Posibilidades de operación de un motor de CC.

Para que el motor pueda funcionar como generador, y además en los dos sentidos de giro, el convertidor de CC/CC se complica un poco pasando a ser como el mostrado en la figura 18.16.

## 3.2 › Motores de corriente alterna

En este tipo de motores la regulación de par y velocidad es más compleja, y se consigue con los dispositivos electrónicos llamados variadores de frecuencia o inversores. Se recuerda que la velocidad de sincronismo de una máquina de CA está dada por:

$$N = \frac{60 \cdot f}{P}$$

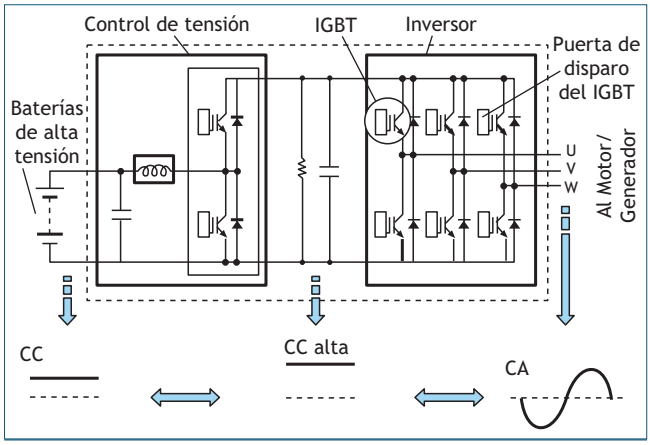
donde $f$ es la frecuencia y P es el número de pares de polos de la máquina.

La clave para la regulación es el control de la frecuencia (para regular la velocidad) y la tensión de alimentación (para ajustar el par). Al igual que en CC, la máquina puede funcionar en los cuatro cuadrantes, lo que posibilita el freno regenerativo y la inversión del sentido de giro.

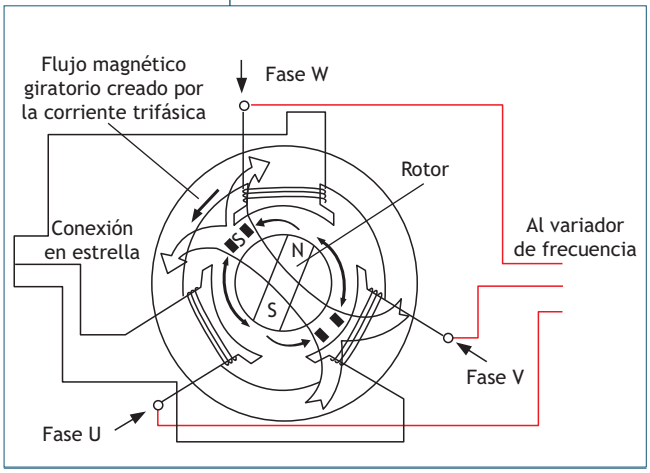
El correcto ajuste de la tensión y frecuencia se consigue controlando el disparo de cada IGBT. El tiempo de encendido y apagado de cada IGBT es calculado por un procesador para conseguir la frecuencia adecuada.

## Vocabulario

**IGBT:** transistor bipolar de puerta aislada (Insulated Gate Bipolar Transistor). Se puede considerar como un interruptor de gran potencia cuya apertura y cierre está gobernada por una señal de tensión de pequeña potencia.




**18.18.** Elevador de tensión e inversor trifásico para control de tensión y frecuencia.




**18.19.** Motor asíncrono de imanes permanentes.

## 4 >> Diagnóstico de averías

A continuación se describen, sin entrar en detalle, diversas técnicas asociadas a la detección de posibles fallos en motores eléctricos.

| Tipo de ensayo | Posibles defectos |
|---|---|
| Temperatura | Sobrecargas, desalineación y cojinetes defectuosos. |
| Termografía | Puntos calientes, mala lubricación, desalineación y cojinetes defectuosos. |
| Resistencia de aislamiento | Mal estado del aislamiento. |
| Análisis de vibraciones con acelerómetro | Cojinetes defectuosos, excentricidad en el rotor, rotura de conductores del rotor, etc. |
| Medida de R, L y C por fase | Bobinas en mal estado, desequilibrio del motor, suciedad, etc. |
| Medida y análisis del flujo magnético | Rotura o cortocircuito de bobinados, desequilibrios de tensión y asimetrías en el rotor y el estator. |
| Medida y análisis de la corriente por fase | Desequilibrios mecánicos, defectos en el rotor, excentricidades, etc. |

Aparte de los ensayos típicos mostrados, siempre se deberá seguir las instrucciones de los fabricantes para la comprobación de los diferentes componentes eléctricos.

## Casos prácticos

### Comprobación de los devanados del motor eléctrico

•• Con un polímetro se han comprobado las resistencias de las fases de un motor trifásico eléctrico, obteniéndose los siguientes resultados:

$$R_{1\text{-}2} = 4{,}32\ \Omega;\ R_{2\text{-}3} = 4{,}82\ \Omega;\ R_{3\text{-}1} = 4{,}81\ \Omega$$

Comprueba las posibles anomalías.

**Solución** •• Primeramente se miran los valores que indica el fabricante. Supongamos que el fabricante, en el manual, indica un valor de 4,85 ± 5% Ω.

Con los datos aportados, se aprecia una diferencia importante en el valor de $R_{1\text{-}2}$, lo que indica que el motor trabajará con un desequilibrio importante, que podrá inducir vibraciones, consumos inadecuados de corriente, falta de regularidad en la marcha, etc. Para comprobar si se está dentro de los límite se calcula el % de error, que con los datos aportados es de:

$$\frac{4{,}85 - 4{,}32}{4{,}85} \cdot 100 = 10{,}93\%$$

Este valor está por encima del error permitido por el fabricante (5%), por lo que habría que reparar o cambiar el motor.

## Actividades finales

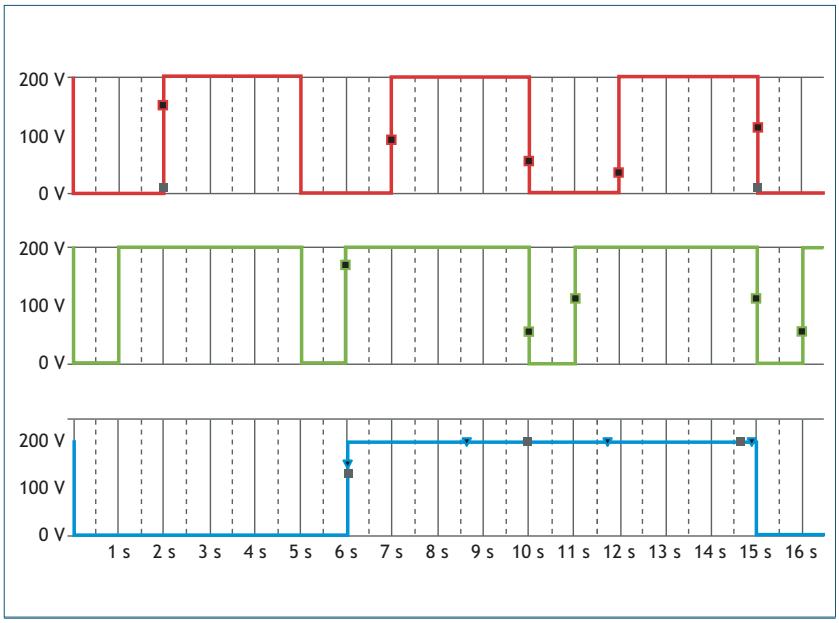
**1··** Encuentra en Internet, u otros medios, los datos medioambientales, las características técnicas de las baterías de alta tensión, del motor eléctrico y del motor térmico de un vehículo con propulsión híbrida y contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál es la tensión nominal de las baterías y de qué tipo es?
- ¿Cuál es la tensión nominal del motor eléctrico y qué tipo de motor es?
- ¿Cómo consigue el sistema eléctrico pasar de la tensión de las baterías a la nominal del motor?
- ¿Qué motor ofrece más par a bajas revoluciones: el eléctrico o el térmico?
- ¿Qué cilindrada, qué potencia y qué par tiene el motor térmico?
- Compara los datos medioambientales con el modelo no híbrido que dé prestaciones similares y comenta los resultados: consumos, emisiones de $CO_2$, CO, NOx, HC
- Verifica si cumple con la normativa Euro IV. Comprueba si cumple con la propuesta Euro V que tiene previsto su entrada en 2008-2009.

**2··** Sabiendo que un motor síncrono de CA tiene 12 polos y está controlado por un inversor, ¿qué frecuencia tiene que generar este para que la velocidad de giro sea de 1 350 rpm?

**3··** Calcula el valor de la tensión media de las siguientes formas de onda generadas por un convertidor CC/CC para el control de un motor de CC (figura 18.20).

Repite los cálculos suponiendo que los tiempos en vez de segundos, son milisegundos (1 ms = 0,001 s). ¿Qué observas?




**18.20.** Actividad 3.

**4··** Sabiendo que el rendimiento de una batería es la relación porcentual entre la energía que absorbe al ser cargada y la que entrega cuando se descarga, ordena de mayor a menor rendimiento los tipos enumerados en el apartado 2.1 (busca documentación).

**5··** Busca información sobre el precio de una pila de combustible de 1 kW en el año 2003, otra de el doble de potencia del año 2005, y una de 4 kW del año 2007.

¿Qué precio es probable que tenga una de 8 kW para el año 2009? Repite el ejercicio pero en vez de comparar el precio, hazlo con el peso. ¿Se podría afirmar que, aproximadamente, cada dos años la potencia se duplica (equivalente a decir que el peso se reduce a la mitad) y el precio se reduce la mitad?

**6··** Apoyándote en las conclusiones del ejercicio anterior, comenta con tus compañeros y profesor cuál puede ser el uso en automoción de las pilas de combustible dentro de unos 20 años, y qué se tendría que mejorar para que los vehículos para automoción se equipen exclusivamente con este tipo de propulsión (pila + motor eléctrico).

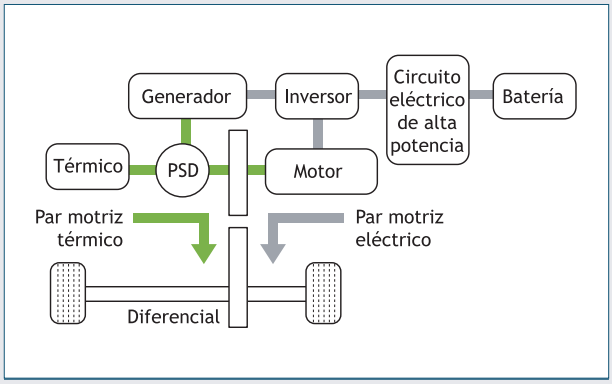
## Caso final

### Funcionamiento del sistema HSD

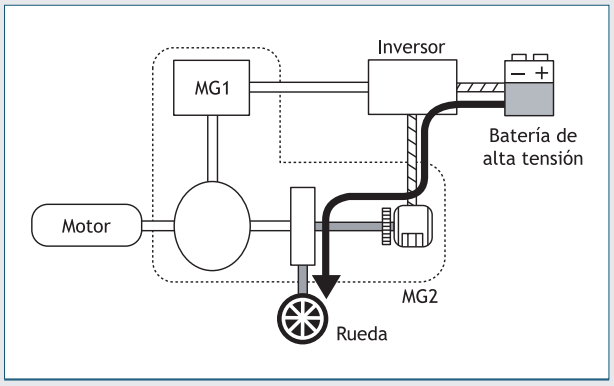
•• Se van a explicar las diferentes formas de funcionamiento del sistema HSD, que permiten un mayor aprovechamiento energético, resaltando cuáles son las conclusiones principales.

Este sistema intenta tener el motor térmico trabajando en la zona óptima el mayor tiempo posible.

La configuración con los dos motores eléctricos y la caja de engranajes epicicloidales hace posible los siguientes modos de funcionamiento:



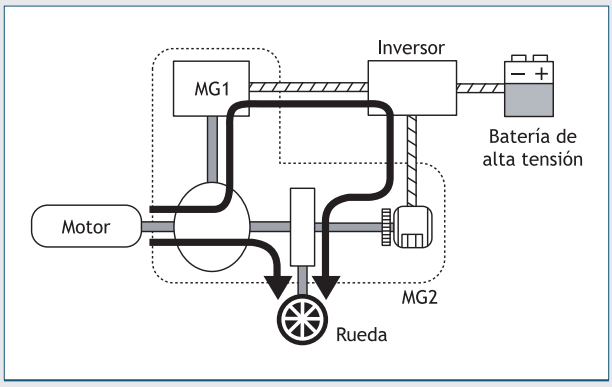

**18.21.** Esquema conceptual del sistema HSD.



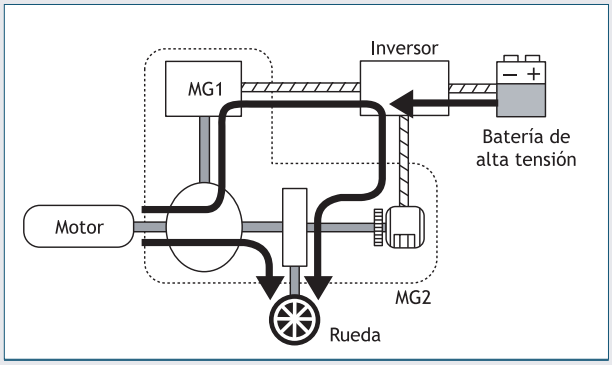

**18.22.** Sistema HSD a baja velocidad.

**a) Modo básico o de baja velocidad:** el motor térmico parado y el vehículo propulsándose por el motor MG2, alimentado exclusivamente de las baterías de alta tensión.

**b) Crucero:** el motor térmico funciona a sus rpm óptimas. En estas condiciones el par suele ser grande, y las revoluciones bajas. Si el vehículo demanda más velocidad, se absorbe el par sobrante del motor térmico para mover el generador MG1, y con esta energía eléctrica, se puede aumentar la velocidad alimentando a MG2 o recargar las baterías de alta tensión (HV).

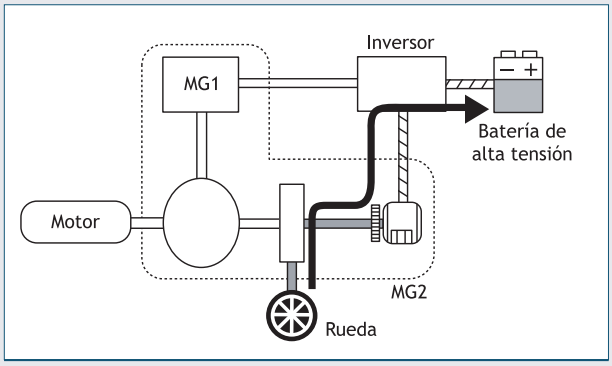



**18.23.** Sistema HSD en velocidad de crucero.



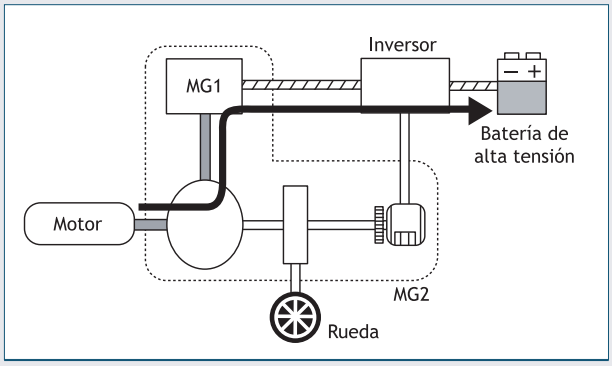

**18.24.** Sistema HSD en adelantamiento.

**d) Carga de baterías de alta tensión:** cuando las baterías estén bajas, el motor térmico, a través del generador MG1, carga las baterías.




**18.26.** Sistema HSD en frenada regenerativa.

**c) Adelantamiento:** similar a la configuración anterior, pero en este caso el MG2 se alimenta también de la baterías, teniendo así un extra de potencia.




**18.25.** Sistema HSD cargando baterías.

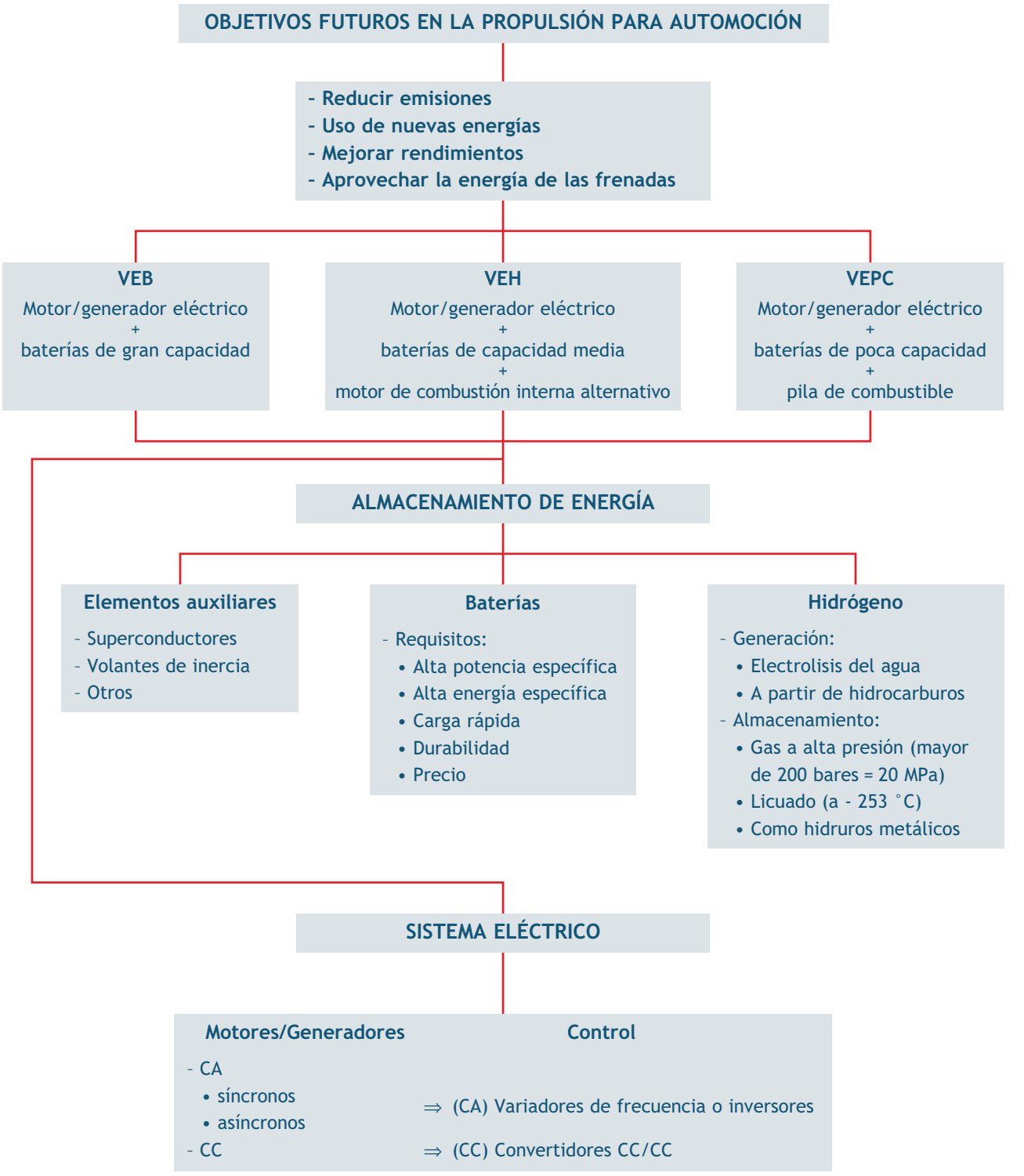
**e) Frenada regenerativa:** si se pretende reducir velocidad, el sistema actúa haciendo funcionar únicamente a MG2 como generador, para recargar las baterías de alta tensión.

**Conclusiones** ·· Los diferentes modos de funcionamiento del sistema hacen posible que durante la mayor parte del tiempo, el motor térmico, que es el que menor rendimiento tiene, esté trabajando en la zona de mejor aprovechamiento energético. Esta zona suele estar comprendida en torno a las rpm de máximo par de las curvas características del mencionado motor térmico. También se puede aprovechar la energía de las frenadas.

Por otra parte, se elimina la caja de cambios y el sistema de arranque y carga, que compensa en parte el hecho de tener que disponer de dos máquinas eléctricas: el MG1 y el MG2.

Como resultado final, se tiene que el vehículo posee unas buenas prestaciones con un consumo ligeramente inferior, a costa de una mayor complejidad del conjunto, debido a la existencia de motores eléctricos, y al sistema de alta tensión con las baterías y la unidad de control de potencia (con toda su gestión electrónica).

## Ideas clave


OBJETIVOS FUTUROS EN LA PROPULSIÓN PARA AUTOMOCIÓN
- Reducir emisiones
- Uso de nuevas energías
- Mejorar rendimientos
- Aprovechar la energía de las frenadas
VEB
Motor/generador eléctrico
+
baterías de gran capacidad
VEH
Motor/generador eléctrico
+
baterías de capacidad media
+
motor de combustión interna alternativo
VEPC
Motor/generador eléctrico
+
baterías de poca capacidad
+
pila de combustible
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
Elementos auxiliares
- Superconductores
- Volantes de inercia
- Otros
Baterías
- Requisitos:
• Alta potencia específica
• Alta energía específica
• Carga rápida
• Durabilidad
• Precio
Hidrógeno
- Generación:
• Electrolisis del agua
• A partir de hidrocarburos
- Almacenamiento:
• Gas a alta presión (mayor de 200 bares = 20 MPa)
• Licuado (a - 253 °C)
• Como hidruros metálicos
SISTEMA ELÉCTRICO
Motores/Generadores
- CA
• síncronos
• asíncronos
- CC
Control
⇒ (CA) Variadores de frecuencia o inversores
⇒ (CC) Convertidores CC/CC

# PROYECTO HYCHAIN-MINISTRANS

**18.27.** Silla de ruedas con pila de hidrógeno. Cortesía de Besel.

Las ciudades de León y Soria en España, Módena en Italia, el área metropolitana de Emscher Lippe en Alemania y Grenoble, en los Alpes franceses, han sido las elegidas dentro del proyecto Hychain de la Unión Europea para poner en marcha 168 vehículos propulsados por pila de combustible.

El objetivo principal es la implantación a pequeña escala de la economía del hidrógeno, creando las bases para la producción en masa.

El proyecto Hychain-Ministrans permitirá a los usuarios de estas cuatro regiones de la UE probar en condiciones reales los vehículos alimentados con la electricidad generada por una pila de combustible que utiliza hidrógeno. En el proyecto participarán desde ciclomotores, pequeños vehículos utilitarios, minibuses, autobuses y hasta sillas de ruedas, que se pondrán en circulación en colaboración con algunos hospitales.

Para alimentar estos vehículos fácilmente, el proyecto incluye también el desarrollo de unos distribuidores automáticos que dispensarán botellas de hidrógeno, lo que permitirá recargar con hidrógeno la pila de combustible del vehículo simplemente sustituyendo la botella gastada por la nueva. El hidrógeno irá comprimido en la botella, en estado gas, a presiones muy elevadas (hasta 700 bar) y la operación se hará con total seguridad, utilizando una tecnología desarrollada y patentada por Air Liquide, entidad que coordina el proyecto.

El proyecto Hychain, que cuenta con financiación de la Comisión Europea, agrupa una red de 24 participantes industriales en Europa, entre ellos Air Liquide España, el Ciemat, Iberdrola, Motocicletas Derbi, etc. Cuenta con un presupuesto aproximado de 50 millones de euros.

| | Vehículo de ciudad | Camión ligero | Scooter | Triciclo | Silla de minusválido | Autobús ligero | Generador portátil | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alemania | 4 | 18 | 0 | 12 | 4 | 2 | 2 | 42 |
| España | 3 | 8 | 12 | 8 | 8 | 2 | 2 | 43 |
| Italia | 4 | 10 | 7 | 5 | 2 | 0 | 2 | 30 |
| Francia | 4 | 10 | 7 | 10 | 20 | 0 | 2 | 53 |
| Totales | 15 | 36 | 26 | 35 | 34 | 4 | 8 | 168 |

Actualmente, en el mundo circulan ya varios centenares de prototipos de vehículos alimentados por pila de combustible. Entre ellos, varios autobuses urbanos en Madrid y Barcelona. Pero el despliegue a gran escala de esta tecnología todavía está condicionado por su elevado coste y por el desarrollo de la necesaria infraestructura de distribución de hidrógeno, aunque ya existen algunos puntos de generación y distribución de hidrógeno, llamados «Hidrogeneras».